

Исследование по санации и реконструкции

Воздушная изоляция при
энергосберегающей санации и
реконструкции крыш

Обусловленное функциональными
и техническими характеристиками
расположение, воздушной изоляции в
конструкции

Принцип Sub-and-Top («над и под»):
сравнительная характеристика
потенциала защищенности при
использовании пароизоляционных
систем с различным коэффициентом S_d

Расчет при помощи компьютерного
моделирования комбинированной
передачи тепла и влаги для санации крыши
в естественных климатических условиях и
при переносе влаги внутри строительных
материалов



Литература

[1] E-DIN 4108-7: „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele“, Beuth-Verlag, Berlin, 01/2009

[2] DIN 4108-3: „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 3: Klima- bedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung“, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2001

[3] Tagung Schimmelpilze im Wohnbereich: „Schimmelpilz aus bauphysikalischer Sicht - Beurteilung durch aw-Werte oder Isoplethensysteme?“, Klaus Sedlbauer, Martin Krus, Fraunhofer IBP, Holzkirchen, 26.06.2002

[4] DIN EN 15026: „Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation“, Beuth-Verlag, Berlin, 07/2007

[5] WUFI Pro 4.2: „Berechnung des eindimensionalen hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen“, Fraunhofer IBP, Holzkirchen, 08/2008

[6] WUFI 2D 3.2: „Berechnung des zweidimensionalen hygrothermischen Verhaltens von Baukonstruktionen unter realen Bedingungen“, Fraunhofer IBP, Holzkirchen

[7] Delphin 5: „Numerisches Simulationsprogramm für den gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Stofftransport“, Institut für Bauklimatik, Fakultät Architektur, TU Dresden, Dresden

[8] DIN EN ISO 12572: „Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit“, Beuth-Verlag, Berlin, 09/2001

[9] WTA Merkblatt 6-2-01/D: „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA-

Referat 6 Physikalisch-Chemische Grundlagen, München, 05/2002

[10] Studie: „Berechnung des Bauschadensfreiheitspotential von Wärmedämmkonstruktionen in Holz- und Stahlbauweise“, Moll bauökologische Produkte GmbH, 08/2006

[11] Deutsche Bauzeitung; Heft 12/89, Seite 1639 ff.

Надежные решения для санации

Литература	68
Введение 70	
Часть А. Возможности усовершенствования воздушной изоляции уже эксплуатируемой крыши	70
Золотое правило 1/3 к 2/3	70
Пути проникновения влаги	70
Модели расчета диффузионных процессов	71
Расчет согласно стандарту DIN 4108-3 [2]	71
а) процесс по Глазеру	71
б) процесс по Глазеру с учетом климатических параметров «модели Ениша»	71
Расчеты согласно DIN EN 15026 [4]	71
Модели расчета объема влаги, проникающей в конструкцию в результате конвекции	72
Увеличение количества влаги в результате внутренней конвекции	72
Увеличение количества влаги в результате внутренней конвекции	72
Значения коэффициентов S_d и μ	72
Погрешность измерений при использовании материалов в большой степени открытых для диффузии 73	
Оценка степени воздействия влаги. Определения критерия защищенности конструкции от повреждений	73
Исследуемые конструкции	74
Вариант 1: Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм	75
Вариант 2: 50/50	75
Вариант 3: 30/70	75
Вариант 4: Принцип «Sub-and-Top» («под и над»)	75
Результаты	75
Расчеты 76	
Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм, используемая для изоляции кровли.	
Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (вариант 1а)	76
Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм, используемая для изоляции кровли.	
С отличной воздушной изоляцией (например, гипсоволокнистые плиты) (вариант 1б)	76
50/50: Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (Вариант 2)	77
30/70: Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (Вариант 3)	77
Принцип Sub-and-Top: Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (Вариант 4)	78
Сравнительная характеристика наружной изоляции и внутренней изоляции, в которой используется пароизоляционная мембрана	79
10 условий, при которых конструкция надолго будет защищена от повреждений	79
Часть Б. Сравнительная характеристика эффективности принципа Sub-and-Top (вверху и внизу конструкции) при использовании пароизоляционных мембран с различным значением коэффициента S_d	80
Сравнение возможности к просушиванию	80
Расчет потенциала защищенности конструкции от повреждений	81
Исследуемые конструкции	81
Вариант 1: Диффузионно-открытая нижняя кровля	81
Вариант 2: Нижняя кровля из мягких древесноволокнистых плит, толщиной 60 мм	81
Вариант 3: Нижняя кровля из полиуретановых панелей, толщиной 35 мм	81
Результаты	81
Сравнительный анализ пароизоляционных и воздухопроницаемых систем, проложенных по принципу Sub-and-Top	82
Цель строительства	83
8 факторов, позволяющих обеспечить корректную работу и надежную защиту конструкции в течение длительного времени	83

Возможности усовершенствования воздушной изоляции уже эксплуатируемой крыши

Введение:

Общезвестно, что от воздушной изоляции зависит эффективность теплоизоляционной конструкции. Воздухонепроницаемые конструкции незаменимы при создании благоприятного микроклимата помещения и для защиты строений от повреждений влагой. Особо большие объемы воды переносятся в конвективных потоках. За короткое время вода попадает в теплоизоляционный слой, тем самым нарушает его эффективность и вызывает повреждения несущей конструкции. Часто такие процессы приводят к появлению плесени и разрушению конструкции. При ремонте уже эксплуатируемых крыш возникает вопрос, как можно улучшить воздушную изоляцию в ходе проведения энергосберегающей санации в комбинации с использованием изоляционного слоя большей толщины. В первую очередь необходимо

рассмотреть различные возможности расположения воздухоизолирующего слоя.

В проекте к стандарту DIN 4108-7 [1] в пункте 5 «Планирование и установка» указано, что воздухонепроницаемый слой «как правило [...], необходимо размещать со стороны помещения на изоляции, а так же со стороны помещения на несущей конструкции». Однако для этого здание должно быть в идеальном состоянии, как новостройки. При санации крыши это можно осуществить исключительно за счет больших затрат, а так же за счет крайне некомфортных условий для людей, проживающих в объекте, в котором проводятся ремонтные работы. В соответствии со стандартом воздушную изоляцию здания можно установить на любом уровне конструкции. Выбор месторасположения слоя воздушной изоляции необходимо осуществлять, принимая во внимание

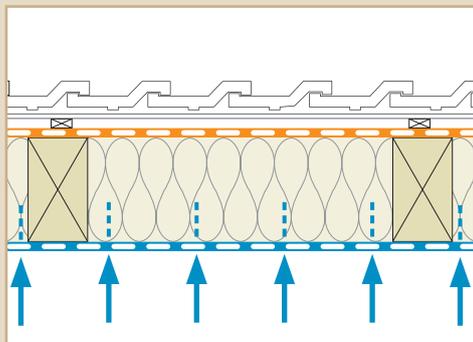
требования стандарта DIN 4108-7 [1] в отношении степени воздействия выпадающего в конструкции конденсата. Если расположенный с внутренней стороны воздухонепроницаемый слой обладает незначительной степенью сопротивления диффузии (коэффициент $S_{d,i}$), в конструкцию может проникать большое количество влаги и выпадать в ее элементах в виде конденсата, если же воздухонепроницаемый слой находится снаружи и имеет высокий коэффициент блокировки, при низком сопротивлении внутри конструкции так же может скапливаться влага.

Целью этого исследования является анализ и оценка различных способов изоляции, а так же разработка рекомендаций по созданию максимально эффективной системы защиты конструкций от повреждений. В ходе строительства особенно важно иметь возможность допускать незначительные погрешности.

А. Функциональное и техническое размещение воздухонепроницаемого слоя в конструкциях

Диффузионные процессы в конструкции легко определить

Рис. 1
Воздействие влаги на изоляционную конструкцию зимой



Через пароизоляционный и воздухонепроницаемый слой с коэффициентом $S_{d,i} = 3$ м в конструкцию в день попадает всего 5 г воды на квадратный метр.

Золотое правило 1/3 к 2/3

Стандарт DIN 4108 [2] ссылается на, так называемое, «правило 20%», согласно которому без математического доказательства под противодиффузионным слоем конструкции можно расположить материал, проявляющий 20% сопротивления полной теплопроводности (при использовании материалов, относящихся к одинаковым теплопроводимым группам в конструкции это 1/5 толщины теплоизоляционного слоя). В противном случае требуется математическое обоснование.

Так, в конструкциях, эксплуатируемых в нормальных климатических условиях, с изоляционным материалом одной теплопроводимой группы температура примерно 1/3 толщины изоляционного слоя должна быть ниже температуры точки росы (9,2°C), т.к. в противном случае будет конденсироваться влага. Критическая концентрация влаги может возникнуть уже при относительной влажности воздуха более 80%. Это минимальный уровень влажности, при котором при температуре от 0 до 50 °C появляются почти все виды плесневых грибов [3].

Более того, конденсат, образующийся на воздухонепроницаемых мембранах, рас-

положенных в конструкции в области, подверженной воздействию низких температур, может превратиться в лед. В результате чего воздухонепроницаемый слой не будет пропускать влагу (например, диффузия или газообмен через поры), поскольку лед практически паронепроницаем, а влага, в свою очередь, накапливаясь, будет разрушать элементы конструкции.

Пути проникновения влаги

Существует два основных пути проникновения влаги в теплоизоляционную конструкцию:

- в результате диффузии
- в результате конвекции

Количество влаги, передаваемой в процессе диффузии, можно рассчитать, используя все постоянные климатические параметры (например, согласно стандарту DIN 4108 [2]), или же при помощи переменных данных, приближенных к естественным, принимая во внимание реальные климатические параметры и технические характеристики строительных материалов согласно DIN EN 15026 [4].

Рассчитать степень передачи влаги в

результате конвекции невозможно, из-за чего сложно защитить конструкцию от скопления влаги, объемы которой могут в сотни раз превышать объем влаги, переносимой в результате диффузионных процессов.

Модели расчета диффузионных процессов

Для определения степени передачи влаги в конструкции в результате диффузии существуют различные модели расчета, результаты которых отличаются по точности. В стандарте DIN 4108-3 [2] объем конденсата или испаряющейся влаги, которые могут образоваться в результате диффузии в рассматриваемом элементе конструкции, рассчитывается, учитывая стандартные климатические условия. При расчетах используют два блока климатических условий (зимний и летний климат). В стандарте DIN 4108-3 так же описывается «модель Ениша», согласно которой получаем различные данные в зависимости от региональных климатических условий. Обе методики, предложенные в стандарте DIN 4108 – 3 не позволяют провести подробный анализ потоков воды и влаги. Следовательно, они не дают точной картины влагосодержания применяемых материалов. Процесс по Глазеру уже многие десятилетия используется в строительстве, но исключительно для определения приблизительного количества конденсата и испаряющейся влаги. Динамические модели вычислений согласно DIN EN 15026 [4], используемые в программах WUFI pro [5] или Delphin [7], позволяют смоделировать потоки влаги и тепла внутри конструкции. Если в расчетах используются почасовые климатические параметры, результаты таких расчетов для длительного периода времени будут точнее всего. Все описанные модели расчета исходят из того, что слои, используемые в конструкции воздухонепроницаемые.

Расчет согласно стандарту DIN 4108-3 [2] а) процесс по Глазеру

Расчет потоков влаги осуществляется принимая во внимание общие климатические данные за 60 дней зимой (-10°C снаружи/80% относительная влажность воздуха и 20°C внутри/при относительной влажности воздуха 50%) и 90 дней летом (+12°C внутри и

снаружи/ при относительной влажности воздуха 70%, в области крыши 20°C снаружи).

Ограничения для конструкции: Количество конденсата при использовании слоев конструкции, не обладающих капиллярной проводимостью (например, пленки), не должно превышать 500 г/м². Количество конденсата в зимний период должно быть меньше, чем количество испаряемой влаги в летний период.

б) процесс по Глазеру с учетом климатических параметров «модели Ениша»

В «модели Ениша» для каждого региона с 12 обобщенными климатическими характеристиками для каждого месяца рассчитываются климатические характеристики с усредненным значением разности температур внутри и снаружи здания. Так, зимой наружная температура колеблется возле нулевой отметки (а не -10°C, как это указано в модели Глазера), летняя в зависимости от региона -18°C (а не, 12°C, как это указано в модели Глазера). Следовательно, расчеты для конструкции ведутся без учета воздействия наружных низких температур, и поэтому результаты не такие «критические», как в процессе по Глазеру. Так и оценку этим расчетам необходимо давать, исходя из вышеизложенного. Несмотря на то, что «модель Ениша» пока еще упоминается в стандарте DIN 4108-3, в настоящее время она практически не применяется. Для получения точных результатов используется динамический метод вычислений.

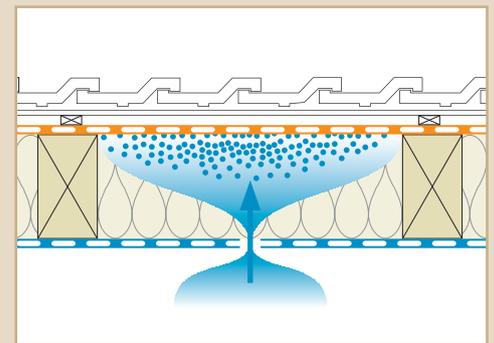
Расчеты согласно DIN EN 15026 [4]

Результаты динамического метода вычислений, используемого в программах WUFI pro [5], WUFI 2D [6], Delphin [7] больше всего приближены реальным. Так, при помощи этого метода степень передачи влаги и тепла в конструкции рассчитывается, основываясь на реальных климатических параметрах (температура, влажность воздуха, осадки, солнце, ветер и др.) или свойствах строительных материалов (диффузия, поглощение, накопление и передача влаги и др.) и географическом месторасположении частей здания (наклон, сторона). Поэтому можно рассчитать влажность и температуру любого участка конструкции.

Невозможность определения:
В настоящее время можно рассчитать только приблизительное количество влаги, проникающей через щели/стыки (конвекция)

Рис. 2

Количество влаги, проникающей в изоляцию через щели/стыки



Через щель/стык толщиной 1 мм в день может проникать до 800 г воды на квадратный метр.

Точные результаты, получаемые при помощи динамического метода вычислений

Статические модели

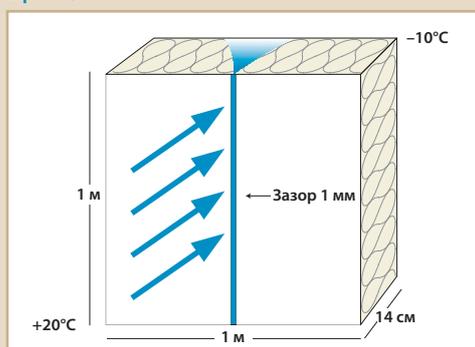
- процесс по Глазеру
- процесс по Глазеру с климатическими параметрами по Енишу
- => приблизительные, ориентировочные значения

Динамические модели

- WUFI pro/WUFI 2D
- Delphin
- => самые точные значения влажности для любого элемента конструкции – идеально подходит для определения степени защищенности конструкции от повреждений

Проникновение влаги в конструкцию через негерметичные участки в пароизоляционном слое

Рис. 3
Щель/стык толщиной 1 мм =
800 г/24 ч на каждый метр длины
щели/стыка



Передача влаги
через пароизоляционную систему: $0,5 \text{ г/м}^2 \times 24 \text{ ч}$
через стык/щель толщиной 1 мм: $800 \text{ г/м}^2 \times 24 \text{ ч}$
коэффициент увеличения: 1.600

Граничные условия:
Пароизоляционный материал с значением коэффициента
 $S_d = 30 \text{ м}$
Температура в помещении = $+20^\circ\text{C}$
Температура снаружи = -10°C
Перепад давления = 20 Па (соответствует силе ветра 2-3)

Измерения проводил Институт строительной физики (г. Штутгарт) [11]

Конвекция и моделирование

Интенсивность конвекционных потоков, возникающих при наличии щелей/стыков, можно рассчитать лишь приблизительно. Если при расчетах не брать во внимание внутреннюю обшивку, то в результате получим данные, отражающие объемы передаваемой влаги исключительно в результате диффузионных процессов. На самом же деле при конвекции переносится гораздо большее количество влаги. Высокое значение μ способствует выпадению конденсата.

Модели расчета объема влаги, проникающей в конструкцию в результате конвекции

Существующие на сегодня промышленные программные обеспечения пока не позволяют смоделировать процесс передачи влаги в конструкцию в результате конвекции (потоки влажного и теплого воздуха). Из-за разницы температур между нагретым воздухом внутри помещения, поднимающегося вверх, и воздухом снаружи образуется также перепад давления между этими воздушными массами, и эта разность давлений стремится к выравниванию с помощью образующегося воздушного потока – процесс конвекции. Расчет интенсивности конвекционных потоков схож с расчетом передачи влаги через щели/стыки в конструкции, при которых не принимается во внимание противодиффузионный внутренний слой (например, пароизоляционный материал или внутренняя обшивка). Поскольку в таком случае речь будет идти исключительно о диффузионных потоках, без учета разности давлений, полной картины объема перемещаемой влаги получить не удастся, т.к. в реальности он будет гораздо больше. Так, при потоках воздуха, движущегося через щели/стыки, влага скапливается на небольшой поверхности и поэтому ее концентрация намного больше, чем показывают результаты расчетов. С конвекционными потоками, перемещающимися через щель/стык шириной 1 мм и длиной 1 м ($1/1000 \text{ м}^2$) в теплоизоляционную конструкцию в день попадает 800 г/м воды.

Столько влаги не сможет испариться даже при наличии открытой для диффузии подкровельной мембраны, т.к. на практике диффузионный поток в тонком элементе конструкции при незначительной/отсутствии разности давления намного ниже, чем это можно представить исходя из значения коэффициента S_d (см. п. Коэффициент S_d и μ).

Увеличение количества влаги в результате внутренней конвекции

Конвекционные потоки могут возникать и в самой конструкции. При нагревании конструкции снаружи прямыми солнечными лучами влага, содержащаяся в ее элементах, поднимается и собирается в каком-либо месте, в котором дальнейшие конвекционные процессы прерываются.

Лед, как пароизоляционный барьер

Если на материале, который находится в зоне воздействия низких температур, собирается конденсат, например, на наружных воздухопроницаемых мембранах, то при понижении температуры до значения с минусом образуется слой льда. Этот лед препятствует испарению влаги из конструкции наружу, в результате чего образуется большое количество конденсата, который в свою очередь тоже замерзает. Следствие: снижается эффективность изоляционного материала, возможность нанесения серьезных повреждений конструкции.

Значения коэффициентов S_d и μ

Главную роль при образовании конденсата играет значение коэффициента μ (коэффициент сопротивления диффузии водяного пара [-]), отражающего степень сопротивления строительного материала. Значение коэффициента S_d (эквивалент толщине воздушной прослойки [м]) так же зависит от толщины строительного материала: чем она больше, тем больше времени потребуется молекуле воды для прохождения через него. Подкровельные мембраны открыты для диффузии и имеют низкий коэффициент S_d . Однако ввиду незначительной толщины слоя значение коэффициента μ все же сравнительно высокое. В цифрах: значение коэффициента μ подкровельной мембраны с микропористой функциональной пленкой, обладающей коэффициентом $S_d = 0,02 \text{ м}$, и толщиной 0,50 мм составляет 40. По сравнению с волокнистым изоляционным материалом (значение коэффициента $\mu = 1$) у мембраны степень сопротивления диффузии выше на 40. Поэтому конденсат может образовываться даже на открытых к диффузии подкровельных мембранах.

Кроме того, открытые для диффузии подкровельные мембраны/воздухопроницаемые мембраны для наружного покрытия, позволяют испаряться намного меньшему количеству влаги, чем это можно предположить исходя из значений коэффициентов S_d и μ . Причиной является незначительная/отсутствие разность давления, образующаяся при использовании элемента конструкции не большой толщины в определенных климатических условиях.

Условия: причиной возникновения диффузионных потоков всегда является

разность давлений. Если с двух сторон климатические условия одинаковые (например, 10°C при относительной влажности воздуха 80%), передача влаги не происходит. Только когда температура или относительная влажность с двух сторон детали конструкции разные, молекулы в результате диффузии перемещаются от одной стороны к другой.

При использовании подкровельных мембран/воздухонепроницаемых мембран для наружного покрытия из-за небольшой толщины материала перепады температуры не возникают. Это позволяет сконцентрироваться на перепадах относительной влажности воздуха, которые зимой (в период особо благоприятный для образования конденсата) на подкровельной мембране/воздухонепроницаемой мембране для наружного покрытия относительно незначительные, если с внутренней стороны мембраны относительная влажность воздуха составляет 80% и более, а с наружной – наблюдается аналогичная ситуация.

Более надежными в таких условиях являются подкровельные мембраны с монолитной пленкой. При выпадении конденсата на внутренней стороне мембраны внутри конструкции, влага за счет диффузии по молекулярным цепочкам выводится из элемента конструкции. Под воздействием влаги степень сопротивления диффузии материала pro clima SOLITEX UD и PLUS уменьшается, тем самым снижается возможность образования льда. При использовании микропористых мембран напротив, образующийся конденсат затрудняет диффузионные процессы, в результате чего влага может испаряться исключительно пассивно в газообразном состоянии, следовательно, опасность образования льда выше, чем при применении монолитных мембран.

Погрешность измерений при использовании материалов в большей степени открытых для диффузии

В разделе 9 «Точность измерения» основного стандарта, в котором изложены главные правила определения степени сопротивления диффузии, DIN EN ISO 12572 [8], перечислены возможные источники погрешности результатов измерений. К ним помимо качества образца для испытания, а также точности измерительного устройства, так же

относятся предельные климатические условия во время измерений (колебания атмосферного давления). Стандарт DIN EN ISO 12572 согласно п. 9.8 не подходит для измерений свойств с высоким значением коэффициента паропроницаемости (т.е. с $S_d < 0,1$ м). На основании вышеизложенного, в стандарте DIN 4108-3 для измерений согласно DIN EN ISO 12572 при расчете диффузии на открытом к диффузии материале необходимо применять значение коэффициента S_d 0,1 м.

Оценка степени воздействия влаги. Определение критерия защищенности конструкции от повреждений

Вода (см. Рис. 1 + 2), проникая в элемент конструкции, повышает относительную влажность, в результате чего образуется конденсат. Если в месте повышенного содержания влаги длительное время будет держаться достаточно высокая температура, может появиться плесень.

Плесневой грибок является так называемым «пионером», поскольку он растет даже в «биологически неблагоприятных условиях окружающей среды» [3].

Зедльбауер и Круз [3] считают, что для появления практически всех видов плесени, типичной для зданий, необходима относительная влажность воздуха 80%. Оптимальные условия для произрастания плесневого грибка: относительная влажность воздуха 90-96% при температуре 0 – 50 °C. Идеальной температурой считается 30 °C. При этой температуре и относительной влажности воздуха 92% на минеральной вате появляется плесень. Если температура ниже, для прорастания грибков требуется повышенная относительная влажность воздуха.

Наличие «пыли, грязи с пальцев, загрязненного воздуха (в кухне, в душе и др.), или продуктов жизнедеятельности человека» способствует образованию плесени даже в неблагоприятных для этого местах. Перечисленные факторы влияют на относительную влажность воздуха или температуру, тем самым создавая условия для прорастания плесневого грибка. Однако колебания температуры (днем и ночью) на некоторое время снижают вероятность появления плесени. Согласно утверждению Зельда [3], при температуре ниже 20°C опасность возникновения плесени существует только, если

Влага, попадающая в конструкцию, может вызвать повреждение и появление плесени

Рис. 4

Плесневый грибок прорастает даже в неблагоприятных для этого условиях



Зедльбауер и Круз [3] отмечают, что для появления практически всех видов плесени, типичной для зданий, необходима относительная влажность воздуха 80%. Оптимальная относительная влажность для произрастания плесневого грибка в зависимости от вида составляет 90-96%

Сравнительная характеристика четырех конструкций

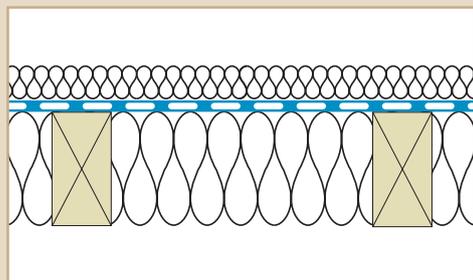
Вариант 1:

Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм, используемая для изоляции крыши

Конструкция с наружным воздухонепроницаемым слоем

Рис. 5

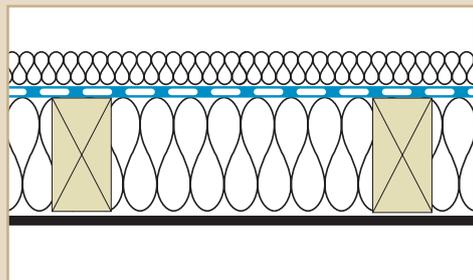
1а: без внутренней воздушной изоляции



- мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм
- открытый для диффузии воздухонепроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м)
- волокнистый, изоляционный материал, не обладающий сорбционной способностью, 120 мм
- без внутренней обшивки

Рис. 6

1 б: с внутренней воздушной изоляцией



- мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм
- открытый для диффузии воздухонепроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м)
- волокнистый, изоляционный материал, не обладающий сорбционной способностью, 120 мм
- гипсоволокнистая плита, 10 мм

более 5 дней в течение более чем 12 часов относительная влажность в конструкции будет выше 75%.

Условия, при которых конструкция может быть подвержена появлению плесени:

1. Среднесуточная температура от 0°C
2. Среднесуточная относительная влажность воздуха в течение длительного времени более 90%
3. Температура и относительная влажность воздуха должны в течение длительного времени находиться в этом диапазоне.

Исследуемые конструкции

В первой части этого исследования на основе составленных критериев рассматривается вероятность появления плесени на следующих конструкциях. Расчеты проводились при помощи программы WUFI pro [5], разработанной в Фраунхофском институте, с использованием блока данных о климатических условиях, в которых находится г. Хольцирхен (в виде сравнительных характеристик) для следующих конструкций:

1. Северная сторона скатной крыши с наклоном 40°C, покрытие – серая кровельная черепица
2. Стропильная конструкция: 12 см, с полной изоляцией из волокнистых изоляционных материалов
 - изоляционный материал, обладающий сорбционной способностью (например, мягкая древесноволокнистая плита или целлюлоза)
 - изоляционный материал, не обладающий сорбционной способностью (например, минеральная вата)

Изоляционные материалы, обладающие сорбционной способностью, обеспечивают дополнительное преимущество при защите конструкции от повреждений. В случае образования большого количества влаги на граничных слоях конструкции эти материалы могут впитать в себя избыточную влагу. Так, например, подобные процессы происходят при использовании для изоляции мягкой древесноволокнистой плиты или целлюлозы: влага поглощается клетками древесины.

Для микроклимата помещения согласно спецификации WTA-Merkblatt 6-2-01/D [9] (входит в WUFI) характерна стандартная влажность, как в помещениях жилых зданий (спальня, гостиная, ванная ком-

ната и кухня).

Для оценки герметичности внутренней обшивки указанные конструкции рассматриваются как с гипсоволокнистой плитой (10 мм), используемой на всех поверхности, так и без нее.

В представленных далее вариантах 1,2 и 4 используется изоляционный материал, не обладающий сорбционными свойствами (минеральное волокно). В варианте 3 применяется изоляционный слой, обладающий сорбционными свойствами (целлюлоза).

Вариант 1: Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм (Рис. 5 + 6)

Дополнительная изоляция стропил мягкой древесноволокнистой плитой толщиной 35 мм, плюс наружный открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м). Изоляция между стропилами из изоляционного материала, не обладающего сорбционными свойствами.

(В отличие от рекомендаций, указанных в стандарте DIN EN ISO 12572 или DIN 4108-3 расчеты проводятся со значением коэффициента $S_d = 0,02$ м (вместо, указанного в стандарте значения 0,10 м).

Вариант 2: 50/50 (Рис. 7)

Воздухопроницаемый слой находится между двумя изоляционными слоями одинаковой толщины: 50% теплоизоляции перед воздухопроницаемым слоем, 50% на стропилах. Оба используемых изоляционных материала обладают одинаковым коэффициентом теплопроводности λ .
Дополнительная изоляция стропил мягкой древесноволокнистой плитой, 120 мм, плюс расположенный посередине открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м).
Изоляция между стропилами из изоляционного материала, не обладающего сорбционными свойствами.

(В отличие от рекомендаций, указанных в стандарте DIN EN ISO 12572 или DIN 4108-3 расчеты проводятся со значением коэффициента $S_d = 0,02$ м).

Вариант 3: 30/70 (Рис. 8)

Дополнительная изоляция стропил мягкой древесноволокнистой плитой толщиной 60 мм, плюс размещенный под ней открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м). Изоляция между стропилами из изоляционного материала, обладающего сорбционными свойствами (например, мягкая древесноволокнистая плита или целлюлоза), толщиной 120 мм.

Вариант 4: Принцип «Sub-and-Top» («под и над») (Рис. 9)

Воздухопроницаемый слой проходит волнообразно (по принципу Sub-and-Top - вверху и внизу) на внутренней обшивке и на несущей конструкции. Дополнительная изоляция стропил мягкой древесноволокнистой плитой толщиной 35 мм, плюс внутри воздухопроницаемый слой, проложенный по принципу Sub-and-Top ($S_d =$ изменяется в зависимости от влажности 0,05 – 2,0 м).

Изоляция между стропилами из изоляционного материала, не обладающего сорбционными свойствами.

Результаты:

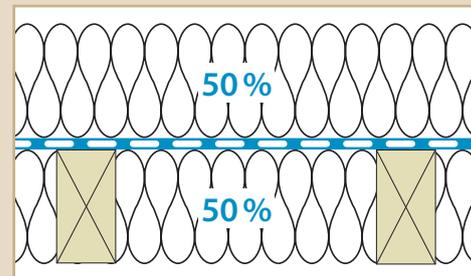
Исследуемый параметр: влажность на граничной поверхности воздухопроницаемой мембраны. Для этого

- рассчитывается относительная влажность воздуха в зависимости от температуры в области примыкания к воздухопроницаемой мембране (вариант 1, 3, 4) или панели из мягкой древесноволокнистой плитой (вариант 2).
- рассчитывается влагосодержание теплоизоляции в граничных слоях

Цель:

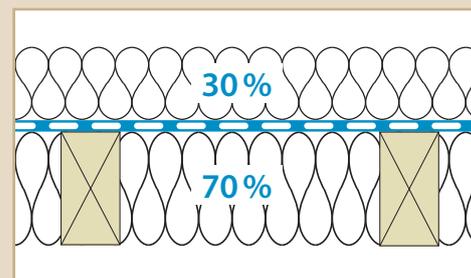
В конструкциях, содержащих теплоизоляционный слой, максимальная относительная влажность воздуха возникает в граничных слоях, в которых используются материалы с различным значением коэффициента μ . Влагосодержание теплоизоляционной конструкции в наружном слое (1 мм) и относительная влажность воздуха не должны значительно повышаться.

Рис. 7
Вариант 2: 50/50



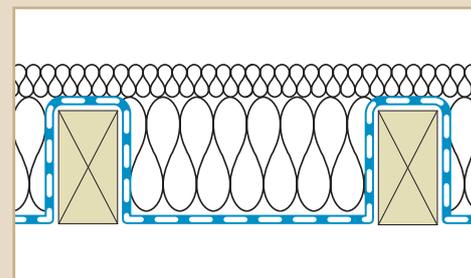
- мягкая древесноволокнистая плита, 120 мм
- открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м)
- волокнистый изоляционный материал, не обладающий сорбционными свойствами, 120 мм

Рис. 8
Вариант 3: использование
изоляционного материала,
обладающего сорбционными



- мягкая древесноволокнистая плита, 60 мм
- открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м)
- волокнистый изоляционный материал, обладающий сорбционными свойствами, 120 мм

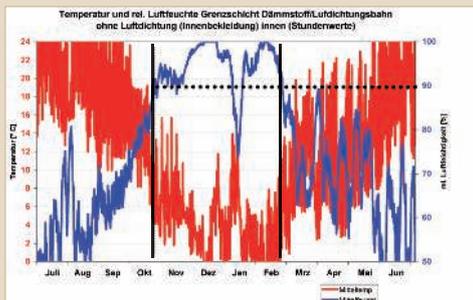
Рис. 9
Вариант 4: Принцип Sub-and-Top



- мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм
- воздухопроницаемый слой, проложенный по принципу Sub-and-Top ($S_d =$ изменяется в зависимости от влажности 0,05 – 2,0 м)
- волокнистый изоляционный материал, 120 мм

Рис. 10 + 11

Результат, вариант 1а:
мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм:
воздушная изоляция снаружи, внутренняя
обшивка содержит щели/стыки



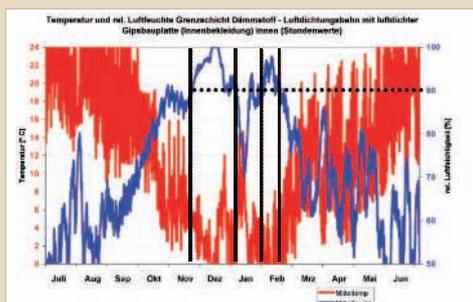
Влажность в течение 157 дней > 90%, в течение 15 дней выпал конденсат
=> **максимальная вероятность появления плесени**



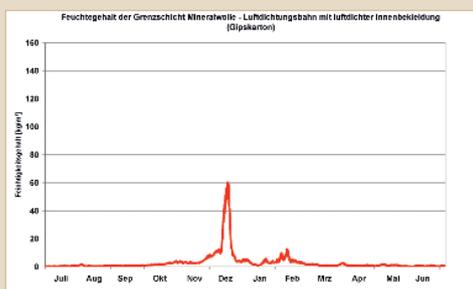
Повышенная максимальная влажность на граничном слое в течение нескольких месяцев – более 150 кг/м³

Рис. 12 + 13

Результат, вариант 1б:
мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм:
воздушная изоляция снаружи, внутренняя
обшивка герметична



Влажность в течение 84 дней > 90%, в течение 6 дней выпал конденсат
=> **повышенная вероятность появления плесени**

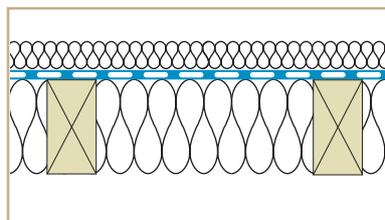


Повышенная максимальная влажность на граничном слое в течение более одного месяца – более 60 кг/м³

Расчеты:

Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм, используемая для изоляции кровли. Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (вариант 1а)

Конструкция с наружным воздухопроницаемым слоем



- мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм
- открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м)
- волокнистый изоляционный материал, не обладающий сорбционными свойствами, 120 мм

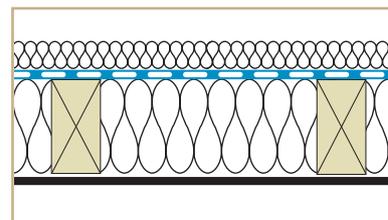
В этом случае была смоделирована конструкция с не идеальной воздушной изоляцией, которая имеет место при использовании гипсоволокнистых плит, оштукатуренных поверхностей и деревянной обшивки (профильная древесина).

Согласно результатам расчетов, представленных в Рис. 10 + 11, на стыках между изоляционным материалом и наружным воздухопроницаемым слоем таких конструкций наблюдается повышенная влажность воздуха, превышающая 90%, вплоть до выпадения конденсата. 157 дней в году относительная влажность воздуха на стыках составляет более 90%, в течение 15 дней выпал конденсат. Существует опасность появления плесени, поскольку высокая относительная влажность сопровождается температурой от 0°C. Влагосодержание на стыках составляет более 150 кг/м³.

В подобного рода конструкциях с не идеальной воздушной изоляцией существует опасность возникновения повреждений.

Мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм, используемая для изоляции кровли. С отличной воздушной изоляцией (например, гипсоволокнистые плиты) (вариант 1б)

Конструкция с наружным воздухопроницаемым слоем



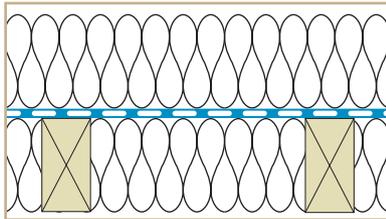
- мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм
- открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_d = 0,02$ м)
- волокнистый изоляционный материал, не обладающий сорбционными свойствами, 120 мм
- воздухопроницаемые гипсоволокнистые плиты, 10 мм

При использовании на всей площади внутренней обшивки из гипсоволокнистых плит, в расчетах она рассматривается, как воздухопроницаемая. Влага проникает в конструкцию исключительно вследствие диффузии.

Согласно Рис. 12 в этой конструкции в течение 84 дней в году наблюдается очень высокая относительная влажность более 90%, а в течение 6 дней даже выпал конденсат. На некоторое время на стыках теплоизоляции с воздухопроницаемой мембраной осуществлялась нагрузка до 60 кг/м³ (Рис. 13) влаги. Таким образом, в данной конструкции, несмотря на эффективную воздухопроницаемую внутреннюю обшивку, существует повышенная вероятность появления плесени на граничных слоях изоляционного материала – воздухопроницаемой мембраны.

50/50
Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (Вариант 2)

Конструкции с промежуточным воздухопроницаемым слоем

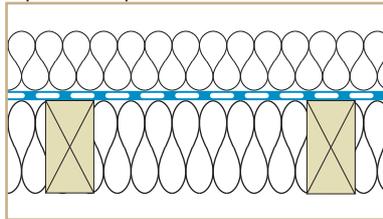


- мягкая древесноволокнистая плита, 120 мм
- открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_{d} = 0,02$ м)
- волокнистый изоляционный материал, не обладающий сорбционными свойствами, 120 мм

Если 50% теплоизоляции (сопротивления полной теплопроводности) расположено перед воздухопроницаемым слоем, то за весь зимний период относительная влажность более 90% будет держаться не более недели (см. Рис. 14). При этом конденсат образовываться не будет. На стыках не будет возникать чрезмерное скопление влаги (см. Рис. 15). При наличии дефектов внутренней обшивки, относительная влажность на стыках изоляционного материала и воздухопроницаемой мембраны в течение всего года будет составлять менее 90%, что создаст неблагоприятные условия для появления плесени [3], даже если внутренний воздухопроницаемый слой (внутренняя обшивка) будет иметь дефекты

30/70
Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (Вариант 3)

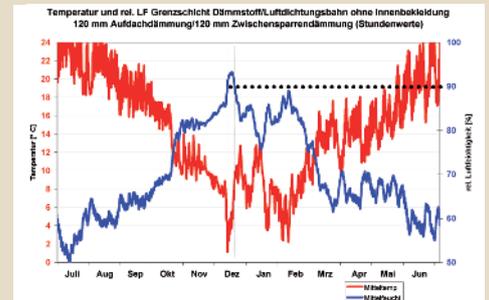
Конструкции с изоляцией, проложенной на 30% над и на 70% между стропилами



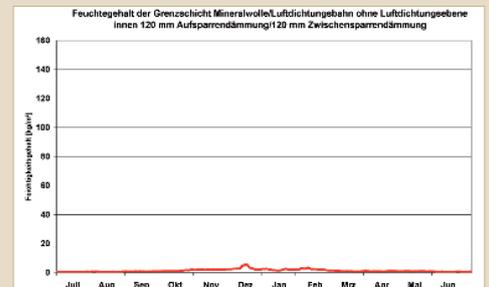
- мягкая древесноволокнистая плита, 60 мм
- открытый для диффузии воздухопроницаемый слой ($S_{d} = 0,02$ м)
- волокнистый изоляционный материал, обладающий сорбционными свойствами (целлюлоза), 120 мм

При использовании изоляционных слоев, способных на короткое время впитывать влагу, 30% изоляционного слоя можно проложить над стропилами, а 70% между ними, при условии, что используемые изоляционные материалы обладают одинаковым коэффициентом теплопроводности. На рассматриваемом примере между стропилами используется изоляционный слой толщиной 120 мм, над стропилами проложена открытая для диффузии воздухопроницаемая мембрана. В этой конструкции влажность 90% на стыках держится длительное время. Иногда она даже превышает это значение. Благодаря сорбционным свойствам, например, целлюлозы или мягкой древесноволокнистой плиты это влагосодержание допустимо (Рис. 16). Влагосодержание на граничных слоях между изоляцией и воздухопроницаемой мембраной не критичное (Рис. 17). В ходе проведения работ по санации имеющийся в конструкции изоляционный слой, который не обладает сорбционными свойствами (например, минеральная вата), можно оставить, если при этом к воздухопроницаемому слою (на наружных гранях стропил) будет добавлен изоляционный материал (толщиной не менее 40 мм), обладающий сорбционными свойствами (например, мягкая древесноволокнистая плита или целлюлоза).

Рис. 14 + 15
Результаты, вариант 2: 50/50
Промежуточный воздухопроницаемый слой, внутренняя обшивка содержит щели/стыки

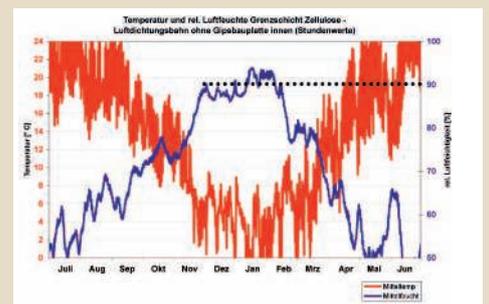


Влажность в течение 7 дней > 90%, конденсат не выпадает
 => незначительная вероятность появления плесени



Небольшое количество влаги на стыках

Рис. 16 + 17
Результаты, вариант 3: 30/70
Воздухопроницаемый слой на изоляции, внутренняя обшивка содержит щели/стыки

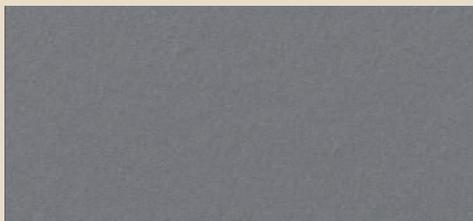


Влажность в течение 45 дней > 90%, конденсат не выпадает
 => незначительная вероятность появления плесени при использовании изоляционного материала, обладающего сорбционными свойствами



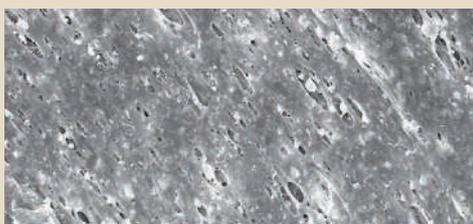
Некритическое влагосодержание на граничных слоях

Рис. 18
Увеличение монолитной беспористой пленки TEEE SOLITEX UD



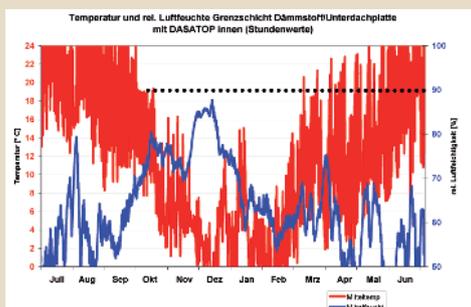
Интенсивная передача воды по молекулярным цепям повышает возможность просушивания.

Рис. 19
Увеличение микропористой функциональной пленки



Пассивная передача воды через поры (газообмен) повышает опасность образования льда на конструкции.

Рис. 20 + 21
Результат, вариант 4:
Принцип Sub-and-Top,
внутренняя воздушная изоляция,
внутренняя обшивка содержит щели/
стыки



Влажность < 90%, конденсат не выпадает
=> неблагоприятные условия для появления плесени



Некритическое влагосодержание на граничных слоях

Воздухонепроницаемые мембраны с монолитным функциональным слоем

В случае размещения воздухонепроницаемого слоя над стропилами, как это показано в варианте 2 (50/50) или в варианте 3 (30/70), необходимо применять открытую к диффузии воздухонепроницаемую мембрану, свойства которой изменяются в зависимости от влажности, содержащую монолитную функциональную пленку. В подкровельной мембране pro clima SOLITEX UD используется соответствующая TEEE пленка, благодаря чему обеспечивается:

– Герметичность

Монолитная функциональная пленка, используемая в мембране SOLITEX UD, обеспечивает 100% герметичность конструкции. В отличие от традиционных воздухонепроницаемых мембран с микропористой пленкой (Рис. 18) SOLITEX UD имеет совершенно беспористую структуру (Рис. 19).

– Диффузионная открытость

Монолитная TEEE пленка обеспечивает интенсивную передачу влаги через мембрану. При образовании конденсата (в виде капель) на внутренней стороне мембраны SOLITEX UD, вода передается по молекулярным цепям наружу. Благодаря чему опасность появления льда, препятствующего испарению влаги, на воздухонепроницаемой мембране меньше, чем при использовании микропористой пленки.

– Изменение свойств в зависимости от влажности

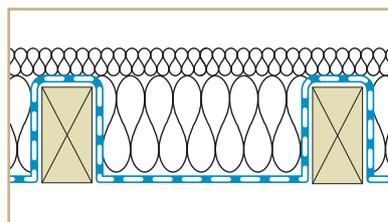
Свойства пленки TEEE мембраны SOLITEX UD могут изменяться в зависимости от влажности. Благодаря чему коэффициент сопротивления диффузии мембраны при образовании конденсата снижается и составляет менее 0,02 м. Таким образом, предотвращается повышение сопротивления диффузии, например, в результате закрытия пор водой.

При необходимости проложить воздухонепроницаемую мембрану над стропилами, SOLITEX UD будет самым оптимальным решением для варианта 50/50 и 30/70 по сравнению с микропористыми воздухоизоляционными материалами.

Более подробную сравнительную характеристику мембран с монолитной и микропористой пленкой см. стр. 156.

**Принцип Sub-and-Top
Без внутренней воздушной изоляции (например, гипсоволокнистые плиты) (Вариант 4)**

Конструкции с проложенным внутри воздухонепроницаемым слоем, без внутренней обшивки



- мягкая древесноволокнистая плита, 35 мм
- воздушная изоляция, проложенная по принципу Sub-and-Top (S_d = в зависимости от влажности 0,05 – 2,0 м)
- волокнистый изоляционный материал, 120 мм

Пароизоляционная мембрана для санации DASATOP, проложенная по принципу Sub-and-Top, обеспечивает надежную герметичность и, благодаря переменному значению коэффициента S_d , эффективно защищает все слои теплоизоляционной конструкции от повреждений влагой.

DASATOP можно применять в комбинации с любыми волокнистыми изоляционными материалами, при условии, что над изоляцией между стропилами будет использоваться воздухонепроницаемая мембрана. DASATOP удерживает приемлемый уровень влажности в теплоизоляции непосредственно под мягкой древесноволокнистой плитой. Пик относительной влажности 85% будет возникать исключительно на короткие промежутки времени при температуре приближенной к точке замерзания (см. Рис. 20). Таким образом, конструкция будет защищена от повреждений влагой (см. Рис. 21). К тому же в этих условиях не сможет появиться плесень. При герметичной укладке и надежном приклеивании мембраны DASATOP к конструкции, последняя будет оптимально защищена от появления плесени. DASATOP обеспечивает надежную защиту всех волокнистых изоляционных материалов и конструкций.

Сравнительная характеристика наружной изоляции и внутренней изоляции, в которой используется пароизоляционная мембрана

Расчеты, проводимые при помощи динамического моделирования процессов, в котором используются показатели естественных климатических условий, позволяют точно воспроизвести фактические процессы, происходящие в конструкции. Так, можно определить степень риска образования конденсата и потенциал защищенности конструкции от повреждений. В конструкции с наружным воздухопроницаемым слоем без необходимой дополнительной изоляции, влажность воздуха, согласно результатам расчета, будет превышать 90%, а на стыке изоляции и воздухопроницаемого слоя будет образовываться конденсат. Следовательно, как это показано в варианте 1, возникает повышенная вероятность появления плесени на элементах конструкции.

Если внутренняя обшивка содержит стыки/щели, в конструкции может скопиться большое количество конденсата. Внутренний изоляционный слой в области перегородок, например, в случае неплотного прилегания к фронтонной стене, может пропускать воздух, вследствие чего в холодное время года существует риск образования большого

количества конденсата, что в свою очередь увеличивает вероятность возникновения плесени.

В соответствии со стандартом DIN EN ISO 12572 при определении значения коэффициента S_d материала, обладающего высокой диффузионной открытостью, может возникнуть значительная погрешность измерения. Повышение сопротивления диффузии воздухопроницаемой мембраны на 0,01 м (с 0,02 до 0,03 м) вызывает увеличение максимального влагосодержания на граничных слоях изоляционного материала/воздухопроницаемой мембраны при расчетах для варианта 1, в котором используется внутренняя обшивка, более чем на 60%. При повышении значения до 0,04 м максимальное влагосодержание увеличивается в два раза (120%) по сравнению с первоначальным значением. Таким образом, незначительные колебания сопротивления диффузии увеличивают риск появления плесени.

Если воздухопроницаемый слой прокладывается в середине изоляционной конструкции (вариант: 50/50), относительная влажность воздуха на граничных слоях опускается ниже критического значения.

В таком случае для изоляции между стропилами может использоваться любой волокнистый изоляционный материал.

В качестве альтернативы в случае применения изоляционных материалов,

обладающих сорбционными свойствами, например, мягкая древесноволокнистая плита и целлюлоза, можно использовать кровельную изоляцию меньшей толщины (1/3 общей толщины изоляционной конструкции) (вариант: 30/70). Если изоляция уже проложена, она должна содержать воздухопроницаемый слой из материала, обладающего сорбционными свойствами, толщиной не менее 40 мм. По сравнению с другими самой надежной оказалась конструкция, в которой используется пароизоляционная мембрана для санации DASATOP, проложенная по принципу Sub-and-Top. Этот материал можно использовать в комбинации с любыми волокнистыми изоляционными материалами. Благодаря проложенному с внутренней стороны пароизоляционному слою, значение коэффициента S_d которого составляет до 2 м, теплоизоляционная конструкция надежно защищена от влаги, поступающей из помещения, и соответственно - от появления плесени.

При использовании мембраны DASATOP не требуется дополнительная кровельная изоляция для защиты конструкции от образования конденсата.

10 условий, при которых конструкция надолго будет защищена от повреждений

1. Оптимально защищенными являются конструкции, содержащие пароизоляционный и воздухопроницаемый слои в соотношении 1/3 к 2/3 (1/3 внутри, 2/3 снаружи) (см. стр. 70 «Золотое правило»).
2. Чем ближе к помещению расположен воздухопроницаемый слой, тем надежнее будет конструкция. В противном случае потенциал защищенности конструкции от повреждений снижается.
3. При использовании полностью герметичной внутренней обшивки в комбинации с наружным воздухопроницаемым слоем можно избежать попадания влаги в конструкцию в результате конвекции.
4. Мембрана DASATOP, проложенная по принципу Sub-and-Top, в комбинации с любыми волокнистыми материалами эффективнее всего защищает конструкцию от повреждений, поскольку DASATOP размещается под теплоизоляционной конструкцией в теплой области (теплее, чем температура точки росы).

На стропилах DASATOP позволяет нейтрализовать сопротивление диффузии подкровельной мембраны.

5. В случае применения изоляционных материалов, обладающих сорбционными свойствами, например, мягкая древесноволокнистая плита или целлюлоза, для воздушной изоляции можно использовать решение, предложенное в варианте 30/70 в комбинации с воздухопроницаемой мембраной, содержащей воздухопроницаемую монолитную пленку (TEEE) - SOLITEX UD/PLUS.
6. Конструкции, в которых используются изоляционные материалы, не обладающие сорбционными свойствами, например, минеральная вата, можно защитить, применяя воздухопроницаемую мембрану, расположенную со стороны помещения (50% сопротивления полной теплопроводности).
7. В варианте 2 и 3 оптимальным решением для обеспечения герметичности конструкции будет использование диффузионно-открытой подкровельной мембраны

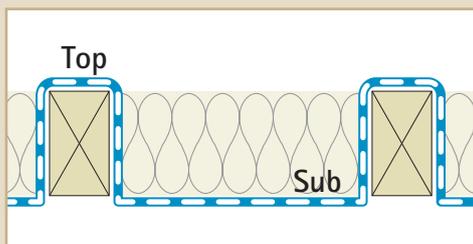
с монолитной мембраной, например, SOLITEX UD, которая позволяет передавать влагу по молекулярным цепочкам. Таким образом, сокращается возможность появления льда, и, соответственно, резко повышается сопротивление диффузии при непредвиденном образовании влаги.

8. Во время проведения строительных работ рекомендуется всегда контролировать их качество. При санации наружной части конструкции ее герметичность можно проверить при помощи теста на избыточное давление, в комбинации с использованием дымовой завесы, позволяющих обнаружить щели/стыки. Найденные щели/стыки следует уплотнить.
9. Необходимо препятствовать возникновению сопротивления диффузии диффузионно-открытых воздухопроницаемых мембран, в частности, при высокой относительной влажности.
10. Воздушная изоляция должна быть по возможности расположена в месте, не подверженному воздействию низких температур.

Б. Сравнительная характеристика эффективности принципа Sub-and-Top (вверху и внизу конструкции) при использовании пароизоляционных мембран с различным значением коэффициента S_d

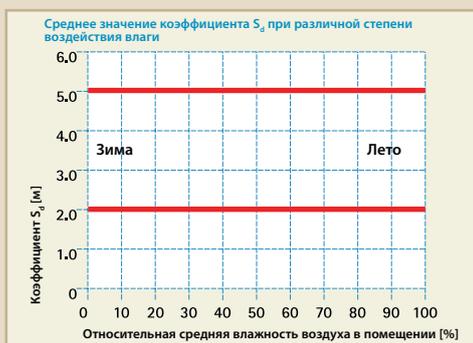
Эффективная защита при санации при помощи мембран, свойства которых изменяются в зависимости от влажности, укладываемых по принципу Sub-and-Top (вверху и внизу конструкции)

Рис. 22
Принцип Sub-and-Top



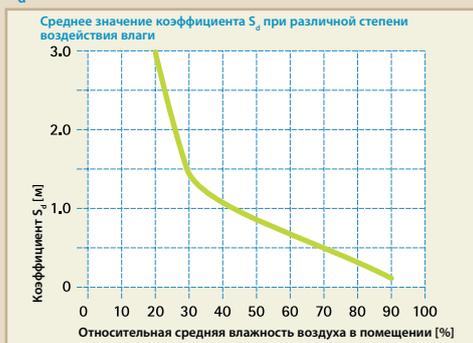
На панели каркаса (Sub), антидиффузионный: защита от влаги.
На стропилах (Top) диффузионно-открытый: быстрое просушивание наружу.

Рис. 23
Мембрана с коэффициентом S_d – 2 м и 5 м



В сухой области:
Значение коэффициента S_d 2 или 5 м: соответствует пароизоляционной мембране
В влажной области:
Значение коэффициента S_d 2 или 5 м: соответствует пароизоляционной мембране

Рис. 24
DASATOP, значение коэффициента S_d 0,05 – 2 м



В сухой области:
Значение коэффициента S_d 2 м: соответствует пароизоляционной мембране
В влажной области:
Значение коэффициента S_d 0,05 м: соответствует подкровельной мембране

В первой части данного исследования речь шла о различных системах для санации наружной части крыши. Так, была дана сравнительная характеристика диффузионно-открытых мембран, используемых для воздушной изоляции, и систем, обладающих незначительную степенью сопротивления диффузии.

В данном разделе рассматриваются исключительно варианты, в которых используется принцип Sub-and-Top, т.е. мембрана прокладывается как под теплоизоляцией, так и на несущей конструкции.

Так, существует два основных варианта:

1. Системы из пароизоляционных и воздухопроницаемых мембран с переменным (в зависимости от влаги) сопротивлением диффузии

Данные системы обладают переменным сопротивлением диффузии, зависящим от средней относительной влажности воздуха окружающей среды. Это значение пароизоляционной мембраны для санации DASATOP в зависимости средней относительной влажности воздуха в непосредственной близости от мембраны, может составлять от 0,05 до 2 м (см. Рис. 24). Более подробная информация о принципе действия материалов, свойства которых меняются при различной влажности, см. исследование «Определение эффективности теплоизоляции в стальных и деревянных конструкциях» [10].

2. Системы из пароизоляционных и воздухопроницаемых мембран с постоянным сопротивлением диффузии

В таких мембранах используются функциональные пленки, на антидиффузионные свойства которых не влияют изменения относительной влажности воздуха. В качестве примера берутся антидиффузионные свойства двух мембран со значением коэффициента S_d 2 м и 5 м Рис. 23.

Сравнение возможности к просушиванию

При укладке мембраны по принципу Sub-and-Top, ее часть, расположенная на верхней стороне несущей конструкции

должна проявлять по возможности минимальное сопротивление диффузии. В идеале, значение коэффициента S_d при этом должно составлять не более 0,1 м, поскольку в таком случае, из-за высокой диффузионной открытости из стропил должно испаряться как можно больше влаги. Коэффициент пароизоляционных мембран, свойства которых изменяются в зависимости от влажности, используемых в изоляции между стропилами во влажной области составляет примерно 0,25 м. Поэтому такие мембраны менее эффективны в сравнении с DASATOP.

При рассмотрении диффузионного потока, проходящего через материал, согласно DIN 4108-3 [2], в статическом состоянии, при помощи расчета плотности диффузионного потока водяного пара g [кг/м² х ч], четко видно, что мембраны с различной толщиной проявляют различную эффективность.

Плотность диффузионного потока водяного пара равна разности парциального давления водяного пара p_i (внутри) [Па] и p_a (снаружи) [Па] поделенной на сопротивление паропроницаемости Z [м² х ч х Па/кг]. При умножении на 24 получаем прохождение водяного пара (W_{dd}) [г/м² х 24 ч].

В качестве примера рассчитывается диффузионный поток при достижении точки росы в условиях наружной температуры в зимний период. Значение p_i составляет 1.163 Па (9,2°C при относительной влажности воздуха 100% (температура точки росы в нормальных климатических условиях), значение p_a составляет 208 Па (-10°C при относительной влажности воздуха 80%).

Значения W_{DD} для различных значений S_d

Значение S_d [м]	Значение (W_{DD}) [г/м ² х 24 ч]
0,05	~ 320
0,10	~ 160
0,50	~ 32
2,0	~ 8
5,0	~ 3
50,0	~ 0,3

Таким образом, уже при минимальном повышении значения коэффициента

S_d значительно уменьшается степень проникновения водяного пара. От этого зависит эффективность защиты конструкции.

Данное положение нельзя применять непосредственно к динамическим расчетам, поскольку значения p_i и p_a постоянно меняются в зависимости от используемых параметров реальных климатических условий и месторасположения конструкции. Так, например, при просушивании из-за незначительной разности давлений на обеих сторонах мембраны эти значения будут меньше.

Расчет потенциала защищенности конструкции от повреждений

При определении потенциала защищенности конструкций, в которых используются мембраны, проложенные по принципу Sub-and-Top, главным критерием является степень просушивания несущей конструкции (здесь – стропил). Если мембрана не плотно прилегает к стропилам, в холодное время года на поверхности стропил может образоваться конденсат. Чтобы конденсат не накапливался и не нанес повреждения конструкции, он должен иметь возможность беспрепятственно испаряться через мембрану. Поток тепла и влаги движется не только изнутри наружу. Диффузионные потоки могут возникать и внутри конструкции, например, от боковой стороны стропил через пароизоляционную и воздухопроницаемую мембрану в изоляционный слой.

Для определения степени просушивания в конструкции повысили влажность (дополнительно к влажности древесины стропил). Так в расчетах, включая влажность материала, она составила 80% (= 2.300 г воды на один погонный метр стропила), был смоделирован процесс образования влаги между пароизоляционной/ воздухопроницаемой мембраной и стропилами. Из рассчитанного объема, который должен испариться, можно вычислить потенциал защищенности [г] H₂O/[м] стропил в год. Обычно влагосодержание стропила составляет 300 г на погонный метр.

Под потенциалом защищенности конструкции от повреждений подразумевается

– объем влаги под воздействием, которого конструкция остается неповрежденной

Исследуемые конструкции

- Северная сторона скатной крыши с наклоном 40°C, покрытие – серая кровельная черепица
- Стропильная конструкция: 12 см, с полной изоляцией из волокнистых изоляционных материалов (Плотность = 60 кг/м³)

Определение внутреннего микроклимата помещения происходит с нормальной нагрузкой от воздействия влаги.

Вариант 1: Диффузионно-открытая нижняя кровля (Рис. 25)

В расчетах коэффициент S_d нижней кровли составляет 0,1 м.

Вариант 2: Нижняя кровля из мягких древесноволокнистых плит, толщиной 60 мм (Рис. 26)

Эти панели используются для дополнительной изоляции стропил (коэффициент $S_d = 0,3$ м), чтобы избежать образования тепловых мостов.

Вариант 3: Нижняя кровля из полиуретановых панелей, толщиной 35 мм (Рис. 27)

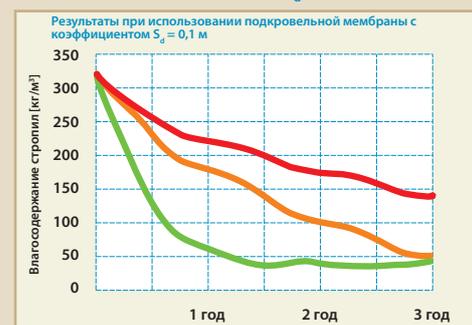
Изоляция стропил, аналогичная представленной в варианте 2, но с коэффициентом $S_d = 3,5$ м

В каждом из 3 вариантов рассматриваются 3 различных пароизоляционных материала, проложенных по принципу Sub-and-Top:

- пароизоляционная мембрана DASA-TOP, с переменным значением коэффициента $S_d = 0,05$ – более 2 м, зависящим от влажности
- пароизоляционный материал с постоянным значением коэффициента $S_d = 2$ м
- пароизоляционный материал с постоянным значением коэффициента $S_d = 5$ м

Расчет потенциала защищенности конструкции крыши от повреждений, местонахождение: г. Хольцкирхен

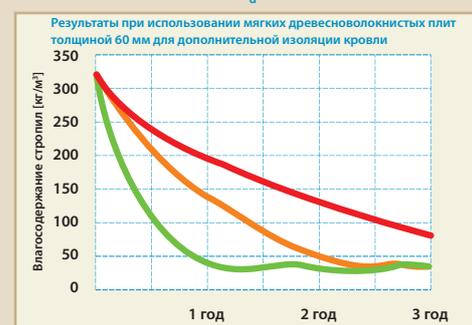
Рис. 25
Результаты при использовании открытой для диффузии нижней кровли ($S_d = 0,1$ м)



Потенциал защищенности конструкции от повреждений:

- DASATOP 1.900 г/м
- S_d 2 м: слишком мало
- S_d 5 м: слишком мало

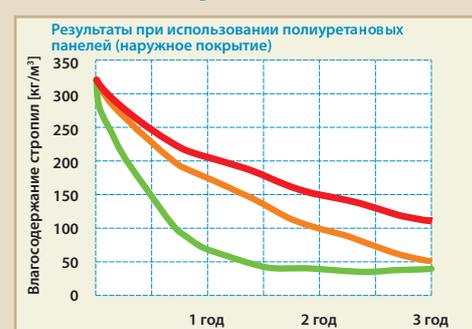
Рис. 26
Результаты при использовании в качестве наружного слоя мягких древесноволокнистых плит толщиной 60 мм ($S_d = 0,3$ м)



Потенциал защищенности конструкции от повреждений:

- DASATOP 2.100 г/м
- S_d 2 м: слишком мало
- S_d 5 м: слишком мало

Рис. 27
Результаты при использовании в качестве наружного покрытия полиуретановых панелей толщиной 35 мм ($S_d = 3,5$ м)



Потенциал защищенности конструкции от повреждений:

- DASATOP 1.800 г/м
- S_d 2 м: слишком мало
- S_d 5 м: слишком мало

Формула эффективности pro clima

Чем больше защитные резервы конструкции, т.е. потенциал защищенности конструкции от повреждений, тем лучше конструкция защищена при непредвиденном воздействии влаги от появления плесени.

Результаты исследования

В ходе исследования были рассмотрены возможности для просушивания стропил с повышенным влагосодержанием. Анализ проводился путем сравнения данных, полученных в течение трех лет, для конструкций, в которых использовались различные пароизоляционные мембраны.

Результаты показали, что во всех конструкциях, в которых использовалась мембрана DASATOP, свойства которой изменяются в зависимости от влажности, влага, содержащаяся в стропилах, испарялась быстрее всего.

Приемлемым считается уровень влажности стропил, если он находится ниже точки максимального впитывания влаги волокнами древесины. Если в качестве критерия скорости просушивания взять этот параметр, увидим, что стропило в конструкции, в которой используется мембрана DASATOP и дополнительный изоляционный слой, будет просушиваться в почти в три раза быстрее, чем в конструкции, в которой применяется пароизоляционная мембрана с постоянным значением коэффициента $S_d = 2$ м, и в пять раз быстрее, чем в конструкции с пароизоляционной мембраной с постоянным значением коэффициента $S_d = 5$ м. В конструкциях, в которых используется только диффузионно-открытая подкровельная мембрана, DASATOP обеспечивает в восемь раз быстрее просушивание, чем в конструкции с пароизоляционной мембраной со значением коэффициента $S_d = 5$ м.

Сравнительный анализ пароизоляционных и воздухопроницаемых систем, проложенных по принципу Sub-and-Top

С точки зрения строительной физики пароизоляционные и воздухопроницаемые мембраны, свойства которых изменяются в зависимости от влажности, проложенные по принципу Sub-and-Top, обеспечивают самую эффективную защиту конструкции от повреждения влагой, в частности при непредвиденном воздействии влаги.

В случае применения мембраны DASATOP, приемлемый уровень влажности стропил, по сравнению с мембранами, обладающими коэффициентом S_d , который составляет 2 или 5 м, достигается почти в пять раз, а иногда даже в восемь раз быстрее.

Если мембрана прокладывается по принципу Sub-and-Top, под изоляцией (Sub) она выполняет пароизоляционную функцию, а при прокладывании над стропи-

лом (Top) – функцию подкровельной мембраны, поскольку она позволяет влаге беспрепятственно испаряться. В таком случае, если мембрана не идеально прилегает к поверхности стропила, образующаяся на боковой плоскости стропила влага, сможет быстро испариться. Значение коэффициента S_d пароизоляционной мембраны, свойства которой изменяются в зависимости от влажности, используемой в изоляционной конструкции между стропилами достигает во влажной области 0,25 м. Таким образом, она является менее эффективной, чем мембрана DASATOP.

Благодаря переменному сопротивлению диффузии (в зависимости от влажности) мембраны можно использовать в любых конструкциях, например, при замене, в подвалах и парниках или разрушающихся конструкциях. Значение коэффициента сопротивления диффузии S_d может варьироваться от 0,05 до 2 м. Допускается как продольная, так и поперечная укладка мембраны.

Диффузионно-открытые мембраны отлично подходят для наружной изоляции, как и размещение диффузионно-открытой кровельной изоляции из волокнистых изоляционных материалов.

При прокладывании по принципу Sub-and-Top мембран с постоянным значением коэффициента S_d , потенциал защищенности конструкции от повреждения значительно сокращается. Зимой мембраны, размещенные в верхних слоях изоляции, благодаря своим переменным свойствам обеспечивают оптимальную защиту конструкции от проникновения влаги. Однако летом они не позволяют конструкции просушиваться. Если на поверхности стропил образуется конденсат, он испаряется крайне медленно, что значительно увеличивает вероятность возникновения повреждений.

Теплоизоляционные конструкции должны обеспечивать максимальную защиту сооружений. Только в этом случае при непредусмотренной нагрузке вследствие повышенного содержания влаги элементам сооружения не будут нанесены повреждения, а так же создадутся неблагоприятные условия для появления плесени. Таким образом, потребитель получит дополнительные гарантии надежности. С точки зрения строительной физики оптимальную защиту при санации наружной части крыши, обеспечивают, пароизоляционные и воздухопроницаемые мембраны, свойства которых изменяются в зависимости от влажности, обладающие по возможности небольшим значением коэффициента S_d при высокой относительной влажности воздуха, проложенные по принципу Sub-and-Top.

Цель строительства

Целью строительства является не только сооружение выгодных с точки зрения потребления энергии зданий и создание комфортного микроклимата в жилых помещениях, а и строительство зданий с благоприятным для здоровья микроклиматом. При этом необходимо учитывать не только токсикологические аспекты, например, эмиссию строительных материалов, но, и, прежде всего, степень защищенности конструкции от появления плесени (как снаружи, так и внутри конструкции). Споры плесневого грибка наносят вред иммунной системе и способствуют возникновению/усилению аллергии; выделения плесневого грибка (MVOC) могут вызвать психические расстройства и нарушение физических функций организма. При попадании плесневого грибка в сухие условия, он становится практически безопасным. Если же он попадает обратно во

влажные условия, он снова является собой опасность.

Если плесневый грибок находится на внутренней части стены здания (например, вследствие образования тепловых мостов или конденсата, выпадающего на поверхности), его легко можно увидеть и при необходимости удалить. Если же источник плесени находится внутри конструкции, об этом практически невозможно узнать. В течение года в условиях сырости эта плесень начинает разрастаться, что является постоянной угрозой для здоровья жильцов.

Поэтому целью строительства должно быть сооружение надежных зданий с точки зрения строительной физики, защищенных от возникновения плесени

8 факторов, позволяющих обеспечить корректную работу и надежную защиту конструкции в течение длительного времени

1. Оптимально защищенными являются конструкции, в которых используются пароизоляционные и воздухопроницаемые мембраны, свойства которых изменяются в зависимости от влажности, обладающие минимальным сопротивлением диффузии во влажных условиях $< 0,10$ м.
2. Мембраны, прокладываемые по принципу Sub-and-Top, обладающие минимальным сопротивлением диффузии, подходят для использования на поверхности стропил в области воздействия низких температур. Благодаря возможности просушивания, а так же диффузионным характеристикам конструкции, вероятность появления слоя льда практически исключена.
3. При использовании мембраны DASA-TOP уровень влажности стропил снижается до приемлемого в три, пять, а иногда и восемь раз быстрее, чем при использовании других материалов, что соответственно позволяет обеспечить надежную защиту от появления плесени.
4. За счет слоя, проложенного в области перегородок, и значения коэффициента S_d до 2 м, изоляционная конструкция защищена от влажности, возникающей во внутреннем помещении в связи с бытовыми процессами.
5. Влага из конструкций с диффузионно-открытым наружным слоем испаряется быстрее, чем из конструкций с потиводиффузионными слоями (например, пенистые изоляционные материалы).
6. Во время проведения строительных работ рекомендуется всегда контролировать их качество. При санации наружной части конструкции ее герметичность можно проверить при помощи теста на избыточное давление, в комбинации с использованием дымовой завесы, позволяющих обнаружить щели/стыки. Найденные щели/стыки необходимо уплотнить.
7. При укладке мембраны по принципу Sub-and-Top ее необходимо крепить механически тонкими планками. Можно дополнительно посадить ее на воздухопроницаемый клей. Клейкие ленты не будут держаться на пыльной основе старых стропил.
8. Рекомендуется использовать не бликующие мембраны темного цвета, т.к. светлые, в частности белые мембраны не удобно прокладывать, а если мембрана будет бликовать возможны несчастные случаи.