



Review Article

Received: April 1, 2025

Accepted: April 21, 2025

ISSN 2658-5553

Published: May 15, 2025

Assembly joints: A review of scientific literature, standards and terminology

Kotliarskaia, Irina Leonidovna^{1*}  Ulanov, Aleksandr Vadimovich²  Vatin, Nikolai Ivanovich¹  

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russian Federation; iravassilek@mail.ru (K.I.L.); vatin@mail.ru (V.N.I.)

² VEKA Rus, Moscow, Russian Federation; aulanov@veka.ru (U.A.V.)

Correspondence: * email iravassilek@mail.ru; contact phone [+79095863919](tel:+79095863919)

Keywords:

Assembly Joint; Airtightness; Vapor Permeability; Air Permeability; Vapour Barrier; Sealant; Sealing Tape; Moisture; Adhesion; Energy saving; Terminology

Abstract

This review article evaluates the existing scientific literature, regulations, and terminology on assembly joints, their sealing, and material characteristics. The main objective is to systematize the fundamentals terms and definitions related to assembly joints and, based on the analysis, formulate arguments for classifying construction joints as "building products" or "building structures". **Methodology:** The review utilized a general scientific method of synthesizing, analyzing, and classifying information. Scopus and eLibrary scientific databases were used to identify and collect the most relevant studies. **Results:** An analysis of scientific research and regulatory documentation revealed a lack of empirical and theoretical data in the design of assembly joints for window unit junctions to wall structures. The reviewed publications emphasize the importance of the assembly joint for the performance of enclosing structures. Inconsistencies and contradictions in regulatory requirements (Russian State Standard GOST 30971-2012) for the design and selection of materials for assembly connections were noted. The standard's concept fails to take into account the characteristics of enclosing structures and climatic operating conditions, which contradicts scientific data. The required vapor permeability resistance values for the layers of the assembly joint lack sufficient justification. **Conclusion:** Based on the analysis conducted, an interpretation of the assembly unit as a set of functionally complementary layers (vapor barrier, thermal insulation and waterproofing) for insulating and sealing the gap between structures is proposed. The identified lack of scientific data and the lack of validity of regulatory documents indicate the need for further research to develop a methodology for selecting materials for assembly joint, taking into account the humidity regime and climate.

1 Введение / Introduction

Строительный сектор является одним из крупнейших потребителей энергии в мире. Исследование [1] выявило, что строительный сектор является лидером как по потреблению энергии (36%), так и по объему выбросов CO₂ (39%). Существенную долю в энергозатратах зданий составляют расходы на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха. В условиях глобального роста потребления энергии и исчерпаемости ресурсов энергосбережение в строительстве становится особенно актуальным [2]. Важным направлением является снижение теплообмена между внутренним и наружным пространством за счет утепления и герметизации строительных изделий и конструкций.

Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N.

Assembly joints: A review of scientific literature, standards and terminology;
2025; AlfaBuild; 35 Article No 3501. doi: 10.57728/ALF.35.1

Ограждающие конструкции здания формируют физический раздел между внутренним контролируемым климатом и внешней средой, поэтому от теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зависит сохранность тепла зимой и прохлада летом, а также защита от атмосферной влаги и шума. Сокращение теплопотерь через ограждающие конструкции позволяет значительно уменьшить потребление энергии. Передовыми энергосберегающими материалами являются: пенобетон [3], материалы с фазовым переходом [4], теплоизоляция на основе аэрогеля [5], минераловатные плиты [6] и т.д. Перечисленные материалы снижают теплопотери и устраняют мостики холода в конструкциях стен и узлах примыканий.

Однако, выполнение ограждающих конструкций из передовых энергосберегающих материалов не гарантирует энергосберегающих свойств, если одновременно не обеспечена герметичность здания. Герметичность ("Airtightness"), как установлено работами [7], [8], характеризуется способностью строительной оболочки препятствовать неконтролируемому проникновению или выходу воздушных масс через непредусмотренные дефекты и участки. Данный процесс инициируется разницей давлений, обусловленной совокупным влиянием гравитационной тяги нагретого воздуха, воздействия атмосферного ветра и функционирования систем механической вентиляции. Монтажный шов ("Assembly Joint") является ответственным элементом, обеспечивающим герметичное и долговечное соединение оконных или дверных блоков с проемом ограждающей конструкции. Эксплуатационные характеристики монтажного шва такие, как сопротивление теплопередаче, влагонепроницаемость ("Water Resistance"), воздухопроницаемость ("Air Permeability"), паропроницаемость ("Vapor Permeability"), деформационная устойчивость и звукоизоляция напрямую влияют на энергосбережение и долговечность ограждающих конструкций. Несоблюдение требований по перечисленным характеристикам ведет к снижению теплоизоляционных свойств ограждающей конструкции, образованию конденсата и наледи на внутренних поверхностях конструкций, развитию грибка и плесени, а также к ускоренному разрушению конструкций [9], [10]. Рис. 1 показывает общую схему воздействий на монтажный узел примыкания оконного блока к стеновому проему. Статья [11] поясняет, что основной причиной ненадлежащего выполнения монтажных швов является участие в данном процессе сразу нескольких субъектов, разделяющих ответственность за выполнение требований к эксплуатационным характеристикам ограждающей конструкции: поставщик оконного блока, производитель материалов монтажного шва, строитель ограждающей конструкции, а также проектировщик монтажного узла.

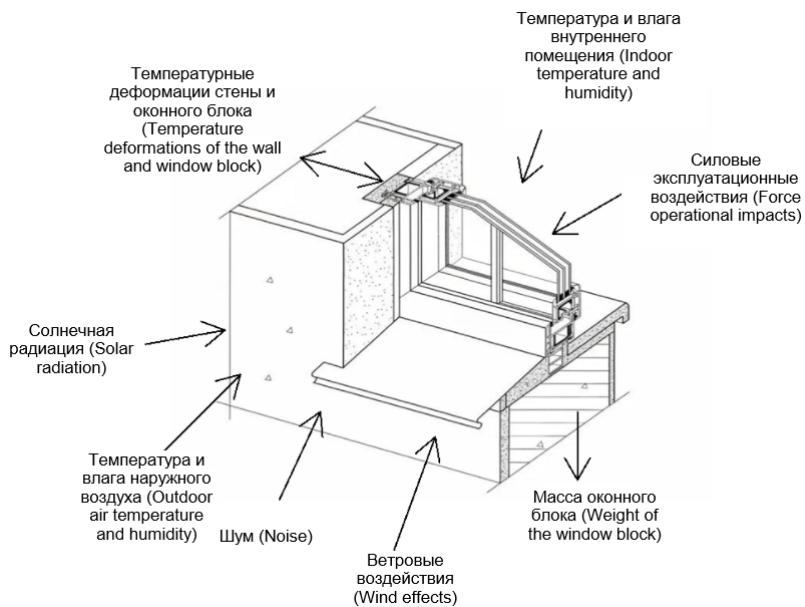


Рис.1 - Принципиальная схема эксплуатационных воздействий на узел примыкания оконного блока к стеновому проему

Fig. 1 - Schematic diagram of operational impacts on the junction of a window block with a wall opening

Несмотря на серьезность и ответственность монтажного шва, ему тем не менее уделено недостаточно внимания в научных публикациях. Исследования преимущественно сосредоточены на герметичности и водонепроницаемости ограждающих конструкций, особенно фасадов [12]–

Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N.

Assembly joints: A review of scientific literature, standards and terminology;
2025; AlfaBuild; 35 Article No 3501. doi: 10.57728/ALF.35.1

[14]. Исследование [15] рассматривает межпанельные швы как потенциальные зоны проникновения влаги и потери тепла. Исследование [15] рассматривало теплопередачу вертикального межпанельного шва с учётом влагопереноса методом численного моделирования, и показало, что заполнение шва бетоном приводит к наибольшим теплопотерям (18.65% только при теплопередаче) по сравнению со стекловатой. Учёт влагопереноса увеличивает теплопотери при заполнении стекловатой (до 0.6%) и особенно газобетоном (до 8.08%). Работа [16] проанализировала формирование инеевых отложений в межпанельных соединениях из-за переноса влаги в зимний период с помощью разработанной математической модели. Особое внимание было уделено моделированию ситуаций обледенения, возникающих при критически низких температурных режимах, как описывала работа [17].

В публикациях по защите фасадов от проникновения влаги ограниченное количество данных касается непосредственно монтажных швов. В частности, работа [18] указывала на обнаружение более 400 потенциальных путей проникновения влаги через швы, обработанные строительным герметиком ("Sealant"), в одиннадцатиэтажном здании. Статья [19] сообщила, что инфильтрация атмосферных осадков в соединениях ограждающих конструкций в основном обуславливается деградацией герметизирующих материалов, и наиболее подверженным участком является узел сопряжения окна и стены. Результаты экспериментальных исследований [20] указывают на невозможность достижения необходимого уровня водонепроницаемости оконных стыков с использованием только лицевой герметизации, без дополнительных мер, таких как воздухонепроницаемый слой или дренажная система. Лицевая герметизация, представляющая собой нанесение одного слоя герметика, оказывается недостаточной для защиты от проникновения дождевой воды. Испытания [21] выявили, что пересечения горизонтальных и вертикальных швов являются наиболее уязвимыми участками с точки зрения водонепроницаемости. Статья [19] также установила зависимость протечек в стенах через швы от направления и скорости ветра, интенсивности осадков. Исследование водонепроницаемости фасадов с открытыми швами [22] показало, что наиболее рациональным решением является h-образный профиль, а также применение скошенных швов. Гладкие фасадные панели способствовали большему проникновению дождевой воды из-за скапливания стока, в то время как меньшая ширина шва снижала проникновение воды. Лабораторные испытания [23] показали, что протечка в зданиях с фасадами из сборных бетонных сэндвич-стен через оконные проёмы и стены происходит даже без учёта ветровой нагрузки и перепадов давления. Применение ПСУЛ (предварительно сжатая уплотнительная лента, "Sealing Tape") для герметизации монтажных швов набирает силу, однако статья [11] утверждает, что внедрение ПСУЛ инициировано производителями и поставщиками лент без основательной научной базы. Информация по свойствам ПСУЛ в основном ограничена рекламными брошюрами. Результатом статьи [24] является впервые проведенный влажностный расчет монтажного шва узла примыкания оконного блока к стековому проему.

Исследование [11] отмечает, что отсутствие должного внимания к монтажному шву обусловлено его классификацией научным сообществом как второстепенного элемента, так как в первую очередь внимание исследователей привлекают характеристики и свойства более объемных ограждающих конструкций. Понимание и однозначное определение научной терминологии ("Terminology"), связанной с монтажным швом, имеет фундаментальное значение для проектирования, расчета и контроля качества тепло- и влагозащиты, герметичности и долговечности строительных объектов. В частности, появляется необходимость в установлении принадлежности монтажного шва либо к "строительному изделию", либо к "строительной конструкции".

Статья нацелена на систематизацию основных терминов и определений по монтажному шву, а также формулирование доводов, опирающихся на проведенный анализ, для классификации монтажного шва как "строительное изделие" или "строительная конструкция". Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Провести анализ научной литературы по монтажным швам узла примыкания оконного блока к стековому проему;
2. Провести анализ нормативных стандартов по монтажным швам узла примыкания оконного блока к стековому проему.

Объектом исследования является монтажный шов узла примыкания оконного блока к стековому проему. Предметом исследования является научная терминология.

2 Методы Поиска Литературы / Literature Search Methods

Для отбора научной литературы по заданной теме была выбрана научная база публикаций Scopus. Работа [25] сообщает, что научная база Scopus является крупнейшей базой данных рецензируемой литературы в научных областях: строительство, энергетика, материаловедение, химия и т.д.

Поисковый запрос был сформирован на основе слов и фраз релевантных теме исследования и встречающихся в названиях, аннотациях и ключевых словах публикаций: "Assembly Joint" (Монтажный Шов), "Sealing" (Герметизация), "Sealant" (Герметик) и "Sealing Tape" (Уплотнительная Лента). Рассматривались публикации, изданные не ранее, чем в 2020-м году. Были выбраны две области исследования: "Engineering" (Техника) и "Material Science" (Материаловедение). Итоговый расширенный запрос выглядел следующим образом:

TITLE-ABS-KEY ("Assembly Joint" OR Sealing OR Sealant OR "Sealing Tape") AND SUBJAREA ("ENGI" OR "MATE") AND PUBYEAR > 2019

Таким образом, был выявлен массив актуальных публикаций (12827 штуки). Дата составления запроса: 06.11.2025. Чтобы публикации касались именно узла примыкания оконного блока к стеновому проему, было принято уточняющее дополнение в поисковом запросе: AND TITLE-ABS-KEY (Window). Данное дополнение отсортировало публикации, в названиях, аннотациях или ключевых словах которых обязательно встречается слово "Window" (Окно). С принятым дополнением количество публикаций сократилось до 174 штук, что еще раз доказало факт, что по теме монтажного шва узла примыкания оконного блока к стеновому проему существует ограниченное количество научных исследований.

Также в процессе обзора публикаций были рассмотрены источники научной литературы из пристатейных ссылок, где была выявлена логическая взаимосвязь с темой исследования. Таким образом, были обнаружены дополнительные источники, которые не были охвачены первичным запросом. Дополнительно был выполнен поиск научной литературы по научной электронной библиотеке eLibrary.ru (ООО "НЭБ"). Данная библиотека является ведущей электронной библиотекой научной периодики на русском языке, на базе которой работает научометрический проект "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ) [26], [27]. Информация, собранная за пределами научных баз данных Scopus и eLibrary, включала строительные нормы и правила, а также интернет-ресурсы. На основе массива отобранных публикаций и нормативов был осуществлен анализ и синтез научных данных.

3 Обзор Литературы / Literature Review

3.1 Обзор научной литературы / Review of scientific literature

3.1.1 Структура монтажного шва

Научная работа [24] описала многослойную структуру монтажного шва. Наружный слой монтажного шва защищает шов от дождевой влаги, ветра и ультрафиолетового излучения и одновременно позволяет испаряться излишней влаге изнутри шва наружу. Для наружного слоя применяются следующие материалы: паропроницаемые ленты, мастичные герметики, специальные изоляционные пленки. Центральный слой монтажного шва обеспечивает минимальные теплопотери и комфортный уровень шумоизоляции. Для формирования центрального слоя шва применяется монтажная пена (пенополиуретановый герметик), обладающая низкой теплопроводностью, но чувствительная к ультрафиолету и влаге, поэтому требует надежной защиты в виде наружного слоя. Внутренний пароизоляционный слой монтажного шва предотвращает проникновение избыточной влаги из внутреннего помещения в теплоизоляционный слой, сохраняя его свойства и предотвращая образование конденсата. Для создания внутреннего слоя используются пароизоляционные ленты или герметики с высокой паронепроницаемостью.

3.1.2 Материалы, используемые для формирования монтажного шва

Герметики применяют для обеспечения водонепроницаемости разъемных и неразъемных соединений, конструкций, различных стыков и швов [28]. Статьи [7], [8] определяют герметичность ("Airtightness") как внутреннее или внешнее сопротивление утечке воздуха через непреднамеренные дефекты или области внутри ограждающих конструкций здания. Сопротивление утечке воздуха возникает из-за перепадов давления от комбинированного

воздействия внешнего ветра и механической вентиляции. А за герметизацию здания принимается обеспечение непроницаемости его конструкций и соединений, достигаемое за счет применения герметизирующих материалов для защиты от проникновения влаги, воздуха, пыли и других веществ. Признаки разгерметизации швов проявляются в виде сквозняков, сырости, цветения обоев. Статья [29] утверждает, что причинами разгерметизации монтажных швов являются нарушение адгезии или когезионное разрушение. Нарушением адгезии является потеря связи между герметиком и основанием, а когезионным разрушением является разрушение самого герметика. Одним из факторов, влияющих на разрушение материала или на нарушение его сцепления с основанием, является сезонный перепад температуры. Работа [30] отмечает, что величина абсолютной деформации шва в зависимости от колебаний температуры окружающей среды изменяется в пределах 7–10% для узлов примыканий оконных и балконных дверных блоков к проемам ограждающих строительных конструкций.

Работа [29] приводила различие между двумя понятиями “Пакля (Caulk)” и “Герметик (Sealant)”. “Пакля” определяется работой [29] как вещество, помещаемое внутрь шва для создания барьера, препятствующего проникновению воздуха, тепла или воды; в то время как “герметик” определяется как материал, не только выполняющий функцию пакли, но и способный расширяться и сжиматься без потери своей герметизирующей способности.

Научные исследования [31], [32] посвящены навесным светопрозрачным фасадам (“Curtain-type translucent facades”), герметизация которых сходна с герметизацией окон. Навесные светопрозрачные фасады существуют модульного типа и стоечно-ригельного [33]. Навесными светопрозрачными фасадами модульного типа являются заводские готовые модули, которые доставляются на строительную площадку уже с установленными стеклопакетами и рамными профилями (рис. 2a). В модульных светопрозрачных фасадах монтажный шов образуется между соседними модулями и между модулями и несущими конструкциями (оконными или стеновыми проемами). Для надежного уплотнения и герметизации швов применяются специальные уплотнители, герметизирующие ленты и профили. В стоечно-ригельных навесных фасадах также используются специальные прокладки, часто называемые “прижимными пластинами” или “прижимными планками”. Прижимные пластины крепятся к стойке для удержания стекла и дополнительно создают водонепроницаемые соединения. Способ крепления и геометрия различается и зависит от условий эксплуатации. Рис. 2b показывает типовой узел крепления структурного остекления.

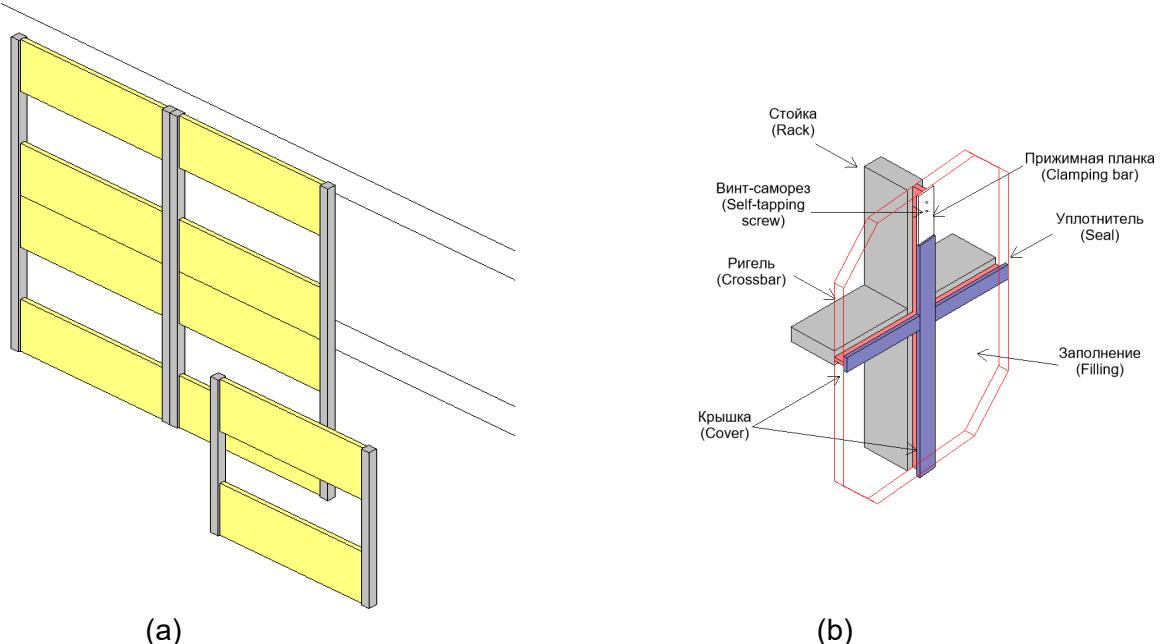


Рис.2 - Навесные светопрозрачные фасады: (а) модульный тип, (б) узел стоечно-ригельного фасада

Fig. 2 - Curtain-type translucent facades: (a) modular type, (b) mullion-transom facade unit

Работа [32] для герметизации стыков рассматривала всепогодный уплотнитель в виде прокладки из EPDM-резины (этилен-пропилен-диеновый мономер) для сборных панельных и

модульных систем. Был выполнен гидродинамический расчет сжатого уплотнения при возрастающем давлении воды с одной стороны уплотнения до тех пор, пока сила реакции уплотнения не снизилась до нуля, что указывало на проникновение воды. При проектном зазоре 10 мм прокладка глубиной 15 мм сжималась на 5 мм, что гарантировало герметичность уплотнителя. Ни при одном из значений давления проникновение воды в стыках не наблюдалось. Для структурного остекления в навесных фасадах также часто используются силиконовые герметики [34]. Результатом исследования [35] является изготовление огнестойкого силиконового герметика путем добавления антипиренов и термостойких агентов в виде порошка. Использование CaCO_3 в качестве наполнителя способствовало повышению огнестойкости, в то время как избыточное добавление $\text{Zn}(\text{FR}_3)$ создавало трудности при работе с силиконовыми герметиками.

Работа [36] установила, что монтажной пеной ("Foam") называется быстро развивающийся легкий конструкционный материал, обладающий высокой удельной прочностью, энергопоглощающими, демпфирующими и термическими свойствами. Статья [37] рассмотрела влияние размера пор монтажной пены на теплоизоляционные свойства монтажной пены. Теоретическое и экспериментальное исследование [37] базируется на зависимости теплопередачи монтажной пены с учетом газовой конвекции (1):

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + \gamma D^3). \quad (1)$$

В формуле (1) γ это постоянный коэффициент, зависящий от плотности, вязкости и теплопроводности газа, заполняющего поры, и теплопроводности твердой компоненты пены, кратности пены (отношение объема полученной пены к объему твердой фазы), температуры; D это диаметр поры; λ и λ_0 это коэффициенты теплопередачи пены с учетом и без учета конвекции. Работа [37] доказала, что при достаточно малом диаметре пор конвекция практически не оказывает влияния на теплопередачу, однако, когда значение произведения γD^3 становится больше, чем 1, то при дальнейшем росте диаметра пор происходит резкое, кубическое возрастание коэффициента теплопередачи. Поводом для исследования [37] стало снижение свойств продукции вследствие стремления производителей монтажной пены к снижению себестоимости путем снижения относительной плотности вспененного теплоизолятора. К соответствующему выводу пришла также работа [38], в которой было описано исследование монтажных пен эконом-класса. Монтажные пены эконом-класса показали неудовлетворительные результаты по значению плотности (13.46 кг/м³), по прочности на растяжение (0.058 МПа), по относительному удлинению при разрыве (1.37%). Полученные результаты ниже, чем требует ГОСТ 30971-2012 "Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стекловым проемам. Общие технические условия" [39].

Пористость монтажной пены также изучена в [40], где были рассмотрены абсорбционные характеристики пенополиуретана (основы монтажной пены). Образцы были подвергнуты трем испытаниям с применением требований стандартов ISO 354:2003 "Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room" [41] и ISO 9613-1-1996 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere" [42]. Результаты показали, что пенополиуретан обладает звукопоглощающими свойствами. Поглощение звука пенополиуретаном улучшалось с ростом частоты. Пенополиуретан был также предметом акустических исследований [43], [44], которые отметили его звукопоглощающие свойства. Работа [36] отмечала, что от изготовления монтажного шва окна напрямую зависит акустический комфорт помещения. Испытания [45] в реверберационных камерах показали, что окно с расширительной лентой TP650 IIIbruck (IIIbruck, Германия) имело значение индекса звукоизоляции воздушного шума R_w на 1 дБ выше, чем окно с полиуретановой пеной низкого давления FM355 IIIbruck (IIIbruck, Германия).

Для заполнения зазоров между ограждающей конструкцией и встраиваемой в ее проем огнестойкой конструкцией также используются огнестойкие монтажные пены и другие герметики. Огнестойкость материалов зависит от химического состава, а также от площади и глубины заполняемых неплотностей. Обязательное требования, предъявляемое к материалам монтажного шва заключается в том, чтобы предел огнестойкости материалов был не меньше предела огнестойкости встраиваемой в противопожарную преграду огнестойкой конструкции [46]. Работа [35] также отмечала, что использование огнестойких материалов, огнестойких окон и дверей в зданиях бессмысленно, если проектом не предусмотрены огнестойкие герметики.

Результаты экспериментальных исследований [47] подтвердили преимущество заполнения проемов в противопожарных преградах терморасширяющейся противопожарной пеной при прокладке через них кабельных изделий. Кабельная проходка, выполненная из терморасширяющейся противопожарной пены, имела неоспоримое преимущество по потере теплоизолирующей способности (I) и потере целостности (E) перед кабельными проходками, выполненными из огнестойкой монтажной пены. Работа [47] сделала вывод, что огнестойкость монтажной пены больше всего проявляется при герметизации щелевых отверстий, в которых поперечные размеры намного меньше толщины ограждающей конструкции.

Работа [48] представила сравнительный анализ свойств образцов монтажной пены MAKROFLEX FR77 Pro (противопожарная), MAKROFLEX WINTER Pro (зимняя), MAKROFLEX Pro (всесезонная) методом синхронного термического анализа, сочетающего термогравиметрию с дифференциальной сканирующей калориметрией (Бренд MAKROFLEX относится к немецкой группе компаний Henkel, Германия). Дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрия часто используются для изучения огнестойкости материалов [49], [50]. У образцов [48] при нагреве выше 500°C наблюдался экзотермический эффект, связанный с выгоранием угольного остатка. Наименьшая скорость выгорания угольного остатка была зафиксирована для образца противопожарной пены, у которого потеря массы составила порядка 60 % от начальной массы пробы. Для остальных образцов потеря массы превысила 80%. Всесезонная пена в ходе испытаний потеряла почти 90% от первоначальной массы.

Для формирования внутреннего слоя монтажного шва используются пароизоляционные материалы. Пароизоляция применяется для обеспечения необходимой воздухонепроницаемости и уменьшения диффузии водяного пара в ограждающих конструкциях здания [51]. Пароизоляция устанавливается с целью предотвращения попадания влажного внутреннего воздуха в теплоизоляцию, где воздух может конденсироваться из-за более низких температур внутри ограждающей конструкции [52]. В ограждающих конструкциях пароизоляционные барьеры обычно состоят из полимерных материалов, например, полиэтиленовая фольга, и обладают низкой паропроницаемостью, в отличие от внешнего паропроницаемого барьера [2]. Статьи [51], [53] для разграничения пароизоляционных и паропроницаемых материалов опираются на значение параметра S_d . Параметр S_d означает толщину слоя неподвижного воздуха, имеющую сопротивление паропроницанию эквивалентное сопротивлению паропроницанию испытуемого образца материала толщиной d . Соответственно, пароизоляционные барьеры имеют высокое значение S_d , чтобы предотвратить проникновение влаги в конструкцию стены, в то время как внешние паропроницаемые материалы имеют более низкое значение S_d , позволяя любой влаге внутри конструкции выходить наружу [54]. Публикация [55] классифицирует материалы на паропроницаемые и паронепроницаемые (пароизоляционные) в соответствие со следующей системой неравенств (2):

$$\begin{cases} S_d < 0.5 \text{ м} & \text{Материал паропроницаемый} \\ S_d > 10 \text{ м} & \text{Материал паронепроницаемый} \end{cases} \quad (2)$$

Работа [53] провела измерения паропроницаемости пароизоляционной ленты методом чашки, описанным в NS-EN ISO 12572:2016 "Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties — Cup method", аналог нормативного документа [56]. Значение S_d пароизоляционной ленты составило 30 м, что означает, что исследуемый материал является паронепроницаемым в соответствии с системой неравенств (2) [55]. Измерения также показали, что значение S_d двухслойной ленты почти вдвое больше, чем у однослоиной, т.е. паропроницаемость сильно снижается при использовании нескольких слоев ленты.

Статьи [52], [57], [58] приводят соотношения значений сопротивления паропроницанию ветрозащитной мембранны (паропроницаемый материал) и пароизоляционного материала. Данное соотношение полезно рассмотреть применительно к многослойному монтажному шву, так как ветрозащитную мембрану и паропроницаемый герметик монтажного шва объединяет способность пропускания через свою толщу водяного пара [59]. Работа [52] утверждает, что пароизоляция должна быть, как минимум, в 10 раз более паронепроницаемой по сравнению с ветрозащитной мембраной в климатических условиях Дании, т.е. соотношение между сопротивлением диффузии пара ветрозащиты и сопротивлением диффузии пара пароизоляции составляет 1:10. По классификации Кёппена [60] Дания относится к умеренному морскому

Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N.

климату, с кодом Cfb. Для климата Финляндии соотношение между сопротивлением диффузии пара ветрозащиты и сопротивлением диффузии пара пароизоляции составляет от 0 до 1:80 [52]. Работа [58] также подтверждает, что принятые в нормативной документации Финляндии соотношение 1:5 между сопротивлением диффузии пара ветрозащиты и сопротивлением диффузии пара пароизоляции недостаточно. Южное побережье Финляндии относится к влажному континентальному климату с мягким летом, Dfb, а остальная часть страны относится к субарктическому климату с прохладным летом, Dfc [60]. В Бельгии исследуемое соотношение варьируется от 1:6 до 1:15 [57]. По классификации Кёппена [60] климат Бельгии схож с климатом Дании и классифицируется как зона Cfb. Работа [52] также сделала вывод о том, что сопротивления паропроницанию ветро- и пароизоляции схожи у стран, расположенных поблизости географически. Таким образом, климат является доминирующим фактором, влияющим на значение паропроницаемости материалов, используемых в ограждающих конструкциях.

Статья [61] сообщила, что ПСУЛ (Предварительно Сжатая Уплотнительная Лента, "Sealing Tape") состоит из полиуретановой пены с открытыми ячейками, пропитанной акриловой гидрофобной смолой, а затем сжатой и нарезанной на узкие полосы. Статья [61] рассмотрела ПСУЛ как вариант герметизации швов ограждающих конструкций из сборного железобетона. В испытаниях [61] использовалась предварительно сжатая лента Tremco, известная как Illmod 600 (Illbruck, Германия). Образец ПСУЛ был испытан в соответствии с требованиями EN 1027:2000 "Windows and doors - Watertightness - Test method" [62]. Во время испытаний не было обнаружено проникновений воды или влаги при давлении до 600 Па. Наряду с ПСУЛ, клейкие ленты также становятся всё более востребованными для герметизации стыков между строительными элементами, обеспечивая их водонепроницаемость. Исследования, оценивающие эксплуатационные характеристики клейких лент, в первую очередь касаются их долговечности в условиях изменяющегося ультрафиолетового излучения, температуры и влажности, а также влияния на сопротивление отслаиванию и сдвигу [63].

Таким образом, для герметизации и повышения долговечности монтажного шва применяются материалы: клей-герметики, уплотнительные и клейкие ленты, монтажные пены, монтажные мастики, обеспечивающие прочность сцепления с поверхностями. Все перечисленные материалы являются видами герметиков. Далее представлен перечень основных видов герметиков и существующие классификации герметиков.

3.1.3 Виды герметиков

Работа [64] систематизирует различные типы герметизирующих материалов: силиконовые герметики, акриловые герметики, силиконизированные акриловые герметики, полисульфидные (тиоколовые) герметики, битумные герметики, битумные мастики, битумные мастики, бутиловые герметики, полиуретановые герметики, берметики на основе MS-полимера. Детальное описание каждого типа приведено ниже.

Силиконовые герметики изготавливаются на основе кремнийорганических каучуков. Силиконовая основа состоит из органического полимерного каркаса, включающего силоксановые связи молекул кремния, кислорода и метана [65]. Как правило, данный вид герметика является однокомпонентным и поставляется в картриджах. Процесс вулканизации происходит при контакте с атмосферой после выдавливания из картриджа. Под вулканизацией герметика понимается процесс его отверждения. Двухкомпонентные силиконовые герметики состоят из основной пасты и катализатора, данные компоненты смешиваются непосредственно перед использованием. В результате вулканизации формируются эластичные полимеры, характеризующиеся химической инертностью, сохранением эластичных свойств в температурном диапазоне от -50°C до +200°C. Работа [64] отмечает устойчивость силиконовых герметиков к воздействию влаги, агрессивных химических веществ и ультрафиолетового излучения. Однако, силиконовые герметики показывают ограниченную устойчивость к деформациям и подвержены разрушению в зонах концентрации напряжений и содержат в составе растворители. Повторное применение силиконового герметика поверх старого слоя невозможно, требуется полное удаление предыдущего покрытия и расшивки шва. Также, силиконовые герметики не подлежат окрашиванию [66].

Акриловые герметики изготавливаются на основе акриловых полимеров. Акриловые герметики однокомпонентные, поэтому отличаются простотой нанесения. Применение данных материалов для герметизации наружных швов не рекомендуется из-за недостаточной устойчивости к деформациям, особенно при колебаниях температур, и низкой влагостойкости [66], Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N.

[67]. Соответственно, акриловые герметики узкая целесообразно использовать для уплотнения неподвижных и малоподвижных соединений, таких как внутренние соединения оконных рам, дверных проемов, подоконников, заполнения трещин в бетоне, штукатурке, кирпичной кладке [64].

Силиконизированные акриловые герметики состоят из акрила с добавлением силиконовой водной дисперсии (латекса) и ряда других добавок. Данные герметики сочетают в себе свойства акриловых и силиконовых герметиков. По сравнению с акриловыми герметиками силиконизированные акриловые герметики более эластичные, влагостойкие и прочные [67]. При временном попадании воды на герметик его свойства не меняются, но при постоянном контакте с водой силиконизированный акриловый герметик быстро разрушается, поэтому силиконизированные акриловые герметики не используют для герметизации швов, расположенных ниже уровня воды, под землей и т.д. [64].

Полисульфидные (тиоколовые) герметики изготавливают из жидких полисульфидных полимеров, отвердителей, ускорителей и связующих агентов [68]. Полисульфидные герметики представляют собой двухкомпонентные составы, требующие смешивания непосредственно перед применением. Процесс отверждения герметиков протекает с заданной скоростью, не зависящей от параметров окружающей среды, и характеризуется стабильной адгезией даже в условиях повышенной влажности [69]. Отличительными свойствами полисульфидных герметиков является сохранение эластичности и прочности в широком диапазоне температур, а также высокая стойкость к воздействию ультрафиолетового облучения и атмосферных осадков. Также данные герметики обладают масло- и бензостойкостью [70], стойкостью к 20%-ной серной кислоте, 10% -ной соляной кислоте, 20%-ной уксусной кислоте, 40%-ных едком натре и едком калии, отлично противостоят температурному старению [64]. Применение полисульфидных герметиков на поверхностях, содержащих цветные металлы не рекомендуется статьей [64], поскольку наличие серы в составе герметиков может инициировать коррозионные процессы. Данные герметики [66], характеризуются меньшей прочностью и устойчивостью к деформациям по сравнению с силиконовыми герметиками [66]. Нанесение полисульфидных герметиков на поверхность стыков при отрицательных температурах (до -10°C) недопустимо.

Битумные герметики изготавливаются на основе битума и модифицируются различными полимерами и каучуками. Битумные герметики защищают металлические конструкции от коррозии, устойчивы к ультрафиолетовому излучению, не разрушаются плесенью, грибками и микроорганизмами, даже в условиях высокой влажности [71]. Битумы являются водостойкими и электроизоляционными материалами, они устойчивы к щелочи и кислотам, обладают превосходной устойчивостью к старению [72]. Среди дополнительных достоинств битумных герметиков статья [64] выделяет возможность их нанесения на влажную поверхность, а также невысокую стоимость, а к недостаткам относят низкую стойкость к высоким температурам и один оттенок (черный).

Битумные мастики содержат смесь нефтяного битума или дёгтя и минеральных наполнителей (доломит, мел, цемент, асбест и т.д.). В зависимости от применяемого связующего мастики различают на битумные, битумно-резиновые и битумно-полимерные [64].

Бутиловые герметики представляют собой термопластичную массу, основным составным компонентом которой является синтетический каучук полизобутилен. Вулканизированный герметик по внешнему виду и своей консистенции напоминает резину [71]. Данные герметики обладают низкой паропроницаемостью, низкой газопроницаемостью и теплопроводностью, хорошей эластичностью, устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, не содержат растворителей [73]. Бутиловые герметики активно применяются в производстве стеклопакетов, используются для уплотнения зазоров, стыков и мест соединения в металлических, деревянных и стеклянных конструкциях и т.д. [64].

Полиуретановые герметики, однокомпонентные, представляют собой эластичные уплотнительные материалы, разработанные на базе полиэфирных смол. Процесс отверждения данных материалов происходит при взаимодействии с атмосферной влагой, в результате чего формируется прочное и эластичное резиноподобное соединение [74]. Материал герметиков на основе полиуретана работает в интервале температур от -40°C до +80°C, обладает водостойкостью, хорошей адгезией, стойкостью против коррозии, устойчивостью к слабым растворам (до 10%) солей, кислот и щелочей. Полиуретановые герметики поддаются окраске. Полиуретановые герметики применяются для герметизации межпанельных швов строительных сооружений с поверхностями из бетона, металла, дерева или ПВХ [70], а также для фиксации теплоизоляционных панелей. Отсутствие усадки в процессе вулканизации позволяет точно

прогнозировать расход материала [64]. Полиуретановые герметики превосходят другие типы герметиков по прочности и эластичности [34]. Однако, полиуретан не устойчив к ультрафиолетовому излучению. Качественные полиуретановые герметики не содержат растворителей и обладают высокой растяжимостью [66]. Используемые в качестве связующего герметиков полиуретановые предполимеры являются горючими материалами. Работа [75] описывает получение и испытание на горючность однокомпонентного герметика пониженной горючести на основе полиуретанового предполимера, антиприренов, коксообразующих и вспучивающих добавок. Результатом работы [75] стало получение герметика пониженной горючести (группа горючести Г1, группа воспламеняемости В2) с высокими физико-механическими свойствами. Условная прочность при разрыве полученного герметика составляет не менее 1.0 МПа, а относительное удлинение при разрыве не менее 600%.

Герметики на основе MS-полимера (MS Polymer или Silyi Modified Polymer) не содержат в своем составе изоцианатов и растворителей. MS-полимер является полиэфирным соединением, полиуретаном, в структуру которого внедрена силанольная (кремнийорганическая) группа. Силанольная группа реагирует с влагой и создает встроенную кремнийорганическую структуру, вулканизируя полимер. Герметики обладают устойчивой вязкостью в широком диапазоне температур и отличной выталкиваемостью (экструдируемостью) даже при холодной погоде. MS-полимер имеет отличную адгезию ко всем поверхностям без применения грунтовок и праймеров, устойчив к температурам до 120°C и кратковременно до 180°C, устойчив к влаге, не окисляет поверхность [76]. Статьи [76]–[78] рассматривали физико-механические характеристики, термостойкость и долговечность гибридных клеев-герметиков на основе MS-полимера, однако, не затрагивали паропроницаемость данных материалов.

Таблица 1 приводит сравнение основных характеристик силиконовых, полиуретановых герметиков и герметиков на основе MS-полимера по 10-балльной шкале [64].

Таблица 1. Сравнительные характеристики герметиков
Table 1. Comparative characteristics of sealants

Характеристика	Герметики на основе MS-полимера	Полиуретановые герметики	Силиконовые герметики
Адгезия к различным основаниям	10	5	7
Механические свойства	10	10	10
Механическая стабильность	10	7	9
Возможность нанесения при низких температурах	10	7	10
Перекрываемость красками на водной основе	10	8	2
Слабое образование пузырей	10	6	10
Экологичность	10	5	8
Устойчивость к ультрафиолетовому излучению	8	5	10
Малое загрязнение граничащих зон	8	5	8
Слабое прилипание пыли	10	10	5
Быстрота высыхания	10	7	10
Тиксотропность	10	10	10
Гладкость	10	7	10
Однородность	10	5	10
Сохранение свойств при хранении	10	7	9

3.1.4 Классификация герметиков

Статьи [79], [80] приводят несколько классификаций герметиков, которые представлены ниже.

Классификация 1. По числу компонентов в условиях поставки герметики делятся на:

1. однокомпонентные;
2. многокомпонентные (чаще всего двухкомпонентные).

Однокомпонентные герметизирующие составы обычно поставляются на объект в тубах или в картриджах, готовы к применению сразу после приобретения и сохраняют функциональные характеристики в течение периода от полугода до года. Многокомпонентные герметики состоят из двух или более компонентов, требующих тщательного смешивания в заданной пропорции непосредственно перед использованием. Время использования данных герметизирующих материалов в подготовленном виде ограничено и варьируется в пределах от одного до двадцати четырех часов. Ключевым элементом является герметизирующая паста, включающая полимерную основу, наполнители и различные добавки для улучшения свойств (компонент А). Неотъемлемым компонентом также является вулканизирующий агент, т.е. отвердитель или катализатор (компонент Б). При необходимости также применяется ускоритель вулканизации (компонент В).

Классификация 2. По отношению к процессу вулканизации герметики делятся на:

1. вулканизующиеся (или отверждаемые);
2. неотверждаемые.

Отверждаемые герметики являются термореактивными составами, которые под влиянием тепловой энергии, влажности или специфических химических реагентов (инициаторов вулканизации или отвердителей), чаще всего добавляемых непосредственно перед использованием, претерпевают необратимые физико-химические трансформации, а именно вулканизируются, трансформируясь из вязкопластичного состояния в эластичное резиноподобное без усадки.

Неотверждаемые герметики представляют собой термопластичные материалы размягчающиеся при увеличении температуры и переходящие в вязкотекучее состояние при достижении определенного температурного порога. В процессе охлаждения они восстанавливают исходные свойства. В течение всего срока эксплуатации подобные герметики сохраняют пластичное или пластиэластичное состояние.

Доля отверждающихся герметиков по отношению к неотверждающимся постепенно возрастает и составляет примерно 40% объема рынка герметизирующих материалов для строительства [79].

Классификация 3. По типу исходного полимера герметики делятся:

1. на основе эластомеров;
2. на основе реакционноспособных олигомеров;
3. на основе термоэластопластов;
4. на основе смесей из эластомеров, реакционноспособных олигомеров, термоэластопластов.

Классификация 4. По состоянию в момент поставки или по выпускаемой форме герметики делятся на:

1. формовые (шнур, лента);
2. неформовые (в виде текучей или пастообразной массы).

Классификация 5. По состоянию в момент эксплуатации или по упругим свойствам герметики делятся на:

1. эластичные (или упругие);
2. пластичные;
3. эластопластичные;
4. пластиэластичные.

Классификация 6. Метод нанесения герметики делятся на:

1. механизированный (герметизирующий пистолет-аппликатор);
2. шпательный;
3. кистевой;
4. поливочный;
5. заливочный;
6. литьевой.

3.2 Обзор нормативной документации / Review of regulatory documentation

ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия” [39] представляет собой один из основополагающих документов, регламентирующих процесс формирования монтажных соединений. ГОСТ 30971-2012 [39] даёт следующее определение термину “узел примыкания оконного (балконного) блока к стеновому проему”: конструктивная система, обеспечивающая сопряжение стенового проема с коробкой Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N.

оконного (балконного) блока, включающая в себя монтажный шов, подоконник, отлив, а также облицовочные и крепежные детали. “Монтажным швом” называется элемент узла примыкания, который представляет собой комбинацию из различных изоляционных материалов, заполняющих монтажный зазор и обладающий заданными характеристиками. В свою очередь “монтажный зазор” определяется нормативным документом [39], как пространство между поверхностью стенового проема и коробкой оконного (дверного) блока.

По эксплуатационным характеристикам монтажные швы разделяются на три класса А, Б и В (Таблица 2).

Таблица 2. Классы монтажных швов в соответствии с эксплуатационными характеристиками (ГОСТ 30971-2012)

Table 2. Classes of assembly joints according to operational characteristics (Russian State Standard GOST 30971-2012)

Характеристика	Значение для классов по каждому показателю		
	А	Б	В
Относительная влажность воздуха в помещении, менее которой отсутствует выпадение конденсата на внутренней поверхности монтажного шва, %	55	45	30
Деформационная устойчивость в циклах при допустимой деформации, не менее	20		
Деформационная устойчивость в циклах при допустимой деформации, не менее	свыше 15.0	от 11.0 до 14.9	от 8.0 до 10.9

ГОСТ Р 52749-2007 “Швы монтажные оконные с паропроницаемыми саморасширяющимися лентами. Технические условия” [81] описывает “показатель деформационной устойчивости” как отношение значения наибольшего возможного изменения размера монтажного шва (без разрушения или критического снижения заданных характеристик) к значению заданного размера шва в процентах. Для различных уровней допустимой деформации показатель устойчивости в циклах остается неизменным и составляет не менее 20.

В старой редакции нормативного документа ГОСТ 30971-2002 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия” [82] была представлена более широкая классификация монтажных швов. Таблица 3 приводит классификацию монтажных швов в соответствии с [82].

Таблица 3. Классы монтажных швов в соответствии с эксплуатационными характеристиками (ГОСТ 30971-2002)

Table 3. Classes of assembly joints according to operational characteristics (Russian State Standard GOST 30971-2002)

Наименование характеристики	Единица измерения	Значение	Класс
Сопротивление теплопередаче	$\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	3.0 и более от 2.1 до 2.9 от 1.2 до 2.0	I II III
Воздухопроницаемость при $\Delta P = 100$ Па	$\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$	менее 0.1 от 0.1 до 0.5 от 0.6 до 1.0	I II III
Водопроницаемость (предел водонепроницаемости)	Па	600 и более от 450 до 599 от 300 до 449	I II III
Деформационная устойчивость	%	свыше 17 от 14 до 17 от 10 до 13	I II III
Звукоизоляция	дБА	свыше 40 от 34 до 40 от 28 до 33	I II III

У актуального стандарта ГОСТ Р 52749-2007 “Швы монтажные оконные с паропроницаемыми саморасширяющимися лентами. Технические условия” [81] более узкая

область применения, чем у актуального норматива [39]. ГОСТ Р 52749-2007 “Швы монтажные оконные с паропроницаемыми саморасширяющимися лентами. Технические условия” [81] распространяется только на монтажные швы узлов примыканий оконных конструкций к стековым проемам, в которых использованы предварительно сжатые саморасширяющиеся уплотнительные ленты (ПСУЛ). Таблица 4 приводит классификацию монтажных узлов из указанного норматива.

Таблица 4. Классы монтажных швов в соответствии с эксплуатационными характеристиками (ГОСТ Р 52749-2007)

Table 4. Classes of assembly joints according to operational characteristics (Russian State Standard GOST R 52749-2007)

Характеристика	Значение для классов по каждому показателю		
	1	2	3
Термическое сопротивление, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	3.0 и более	от 2.1 до 2.9	от 1.2 до 2.0
Предел водонепроницаемости, Па	свыше 600	от 400 до 600	от 200 до 399
Деформационная устойчивость, %	15 и выше	от 11 до 14	от 8 до 10

ГОСТ 30971-2012 [39] и ГОСТ Р 52749-2007 [81] поясняют, что конструкция монтажного шва состоит из трех слоев, имеющих различное функциональное назначение: внешний водоизоляционный паропроницаемый слой, центральный теплоизоляционный слой и внутренний пароизоляционный слой. Таблица 5 систематизирует требования к слоям монтажного шва.

Таблица 5. Требования и свойства слоев монтажного шва узла примыкания оконных блоков к стековым проемам

Table 5. Requirements and properties of the layers of the assembly joint of the window block abutment to the wall openings

Слой монтажного шва	Требование / Свойство	Значение
Общие требования		
Наружный слой	Предел водопроницаемости	Не менее 300 Па
	Сопротивления паропроницанию	Не более 0.25 $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$
	Устойчивость к воздействию температур:	От плюс 70 °C до минус 30 °C /
	Шов обычного исполнения / Шов морозостойкого исполнения	От плюс 70 °C до минус 31 °C и ниже
	Для слоя, выполненного из паропроницаемого герметика	
	Условная прочность в момент разрыва	Не менее 0.1 МПа
	Относительное удлинение в момент разрыва на образцах-лопатках	Не менее 250%
	Прочность сцепления с материалами стековых проемов и оконных конструкций	Не менее 0.1 МПа
	Допустимая деформация	Не менее 15%
	Для слоя, выполненного из ПСУЛ	
	Коэффициента паропроницаемости в состоянии рабочего сжатия	Не менее 0.14 $\text{мг}/\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$
	Водопоглощение поверхности по объему при сжатии за 12 ч	Не более 4%
Центральный слой	Оптимальная рабочая степень сжатия	Не менее 25 % их полного расширения
	Сопротивление отслаиванию	Не менее 0.3 кН/м (кгс/см)
	Оптимальная ширина слоя	15-60 мм
	Глубина слоя	Не менее толщины коробки светопрозрачной конструкции
	Прочность при растяжении	Не менее 0.08 МПа
	Относительное удлинение при разрыве	Не менее 8%

	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии	Не менее 0.04 Вт/м·°С
	Влагопоглощение по объему при поверхностном воздействии влаги за 24 ч	Не более 2.5%
	Прочность сцепления с материалами стенных проемов и оконных конструкций	Не менее 0.05 МПа
	Время полного отверждения	24 ч
	Плотность	Не менее 20 кг/м ³
	Сопротивление паропроницанию	От 0.26 до 1.9 м ² ·ч·Па/мг
Внутренний слой	Сопротивления паропроницанию	Не менее 2.0 м ² ·ч·Па/мг
	Условная прочность в момент разрыва	Не менее 0.1 МПа
	Относительное удлинение в момент разрыва	Не менее 200%

ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеклопакетам. Общие технические условия” [39] содержит противоречия. В данном документе присутствуют положения, которые, с одной стороны, указывают на необходимость проектирования монтажных швов, как части узлов примыканий, с учетом материала наружных стен и геометрии оконных проемов, климатических особенностей (п. 5.1.4, п. А.1.6). С другой стороны, общая концепция стандарта основана на выделении монтажных швов в самостоятельные и самодостаточные элементы, характеристики которых назначаются без какой-либо привязки к характеристикам стен, фасадов, элементов отделки и т.д. (п. А.1.7). Расхождение в нормативе [39] наиболее отчетливо наблюдается в отношении влажностного расчета монтажного шва и соответствующих характеристик. Пункт п. А.1.6 говорит о том, что применение в монтажном шве того или иного сочетания материалов должно проверяться расчетом влажностного режима, а следующий за ним пункт назначает конкретные характеристики материалам, не требующие никакого расчета. Пункт п. А.1.7 уточняет, что сопротивление паропроницанию наружного водоизоляционного слоя должно быть менее 0.25 м²·ч·Па/мг, а сопротивление паропроницанию внутреннего пароизоляционного слоя должно быть более 2 м²·ч·Па/мг (Таблица 5). Однако, установленные статичные требования не подтверждены научно. В ходе обзора публикаций по заданной теме в п. 3.1 авторами статьи не найдены обоснования цифрам из п. А.1.7 ГОСТ 30971-2012 [39], зато из найденного научного исследования [52] следует, что требуемая паропроницаемость (сопротивление паропроницанию) зависит, как минимум, от климатических условий региона и требует индивидуального расчета. Статья [83] сообщает, что климат России варьируется от относительно мягкого Cfa на юго-западе до крайне сурового Dfc, Dfc и Dwd в Сибири, а также тундры (ET) и ледникового покрова (EF) в Арктике в соответствии с классификацией климатов Кёппена [60].

Предыдущая редакция нормативного документа ГОСТ 30971-2002 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеклопакетам. Общие технические условия” [82] нормирует коэффициенты паропроницаемости для наружного и внутреннего слоев монтажного шва. Пункт п. 5.2.5. уточняет, что коэффициент паропроницаемости наружного слоя должен быть не менее 0.15 мг/м·ч·Па. Также написано, что в качестве наружного слоя монтажного шва не допускается использование пароизоляционного материала, кроме случаев применения герметизирующих материалов в комбинации со штукатурным раствором, обеспечивающим требуемую паропроницаемость наружного слоя шва. Пункт п. 5.4.1 описывает требования к внутреннему слою монтажного шва, а именно, внутренний материал должен иметь коэффициент паропроницаемости не более 0.01 мг/м·ч·Па.

Еще одно значение из ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеклопакетам. Общие технические условия” [39], которое нуждается в проверке, это коэффициент паропроницаемости для ПСУЛ. Документ [39] установил, что коэффициент паропроницаемости ПСУЛ должен составлять не менее 0.14 мг/м·ч·Па, а чем заявленное значение обосновывается не ясно. Актуальный ГОСТ 25898-2020 “Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию” [84] вообще не содержит такого понятия, как “коэффициент паропроницаемости”, в место него введен

термин “паропроницаемость”. Паропроницаемость μ является величиной, численно равной отношению толщины образца материала к сопротивлению паропроницанию, измеренному при установившемся стационарном потоке водяного пара через образец. Таким образом, ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия” [39] может ввести читателя в заблуждение в части актуальной терминологии.

Формула (3) описывает зависимость паропроницаемости μ от сопротивления паропроницанию $R_{\text{Vapor permeability}}$ на основании нормативного документа [84]:

$$R_{\text{Vapor permeability}} = \frac{d}{\mu}, \quad (3)$$

где d это средняя толщина образца в м. За “сопротивление паропроницанию” $R_{\text{Vapor permeability}}$ ГОСТ 25898-2020 “Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию” [84] принимает величину, численно равную разности парциальных давлений водяного пара в паскалях у противоположных сторон изделия с плоскопараллельными сторонами, при которой через изделие площадью 1 м² за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон изделия.

Таблица 6 содержит отдельные типовые примеры ПСУЛ разных производителей. По формуле (3) в крайнем правом столбце Таблицы 6 авторы рассчитали сопротивления паропроницанию $R_{\text{Vapor permeability}}$ для сравнения с требуемым значением ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия” [39].

Таблица 6. Примеры лент ПСУЛ
Table 6. Examples of PSUL tapes

Название, бренд	Ссылка	Рабочее расширение, м	Толщина в разжат. сост, м	Ширина, м	$R_{\text{Vapor permeability}}$, м ² ·ч·Па /мг, при $\mu = 0.14$ мг/м·ч·Па
Лента ПСУЛ 30 15x40, 5 м RMPSUL1540 (ООО “СтройСистема”, Московская обл., Российская Федерация)	[85]	0.008	0.040	0.015	0.107
Лента ПСУЛ WipBand 50 20x40 (ООО “СитиПласт”, Санкт-Петербург, Российская Федерация)	[86]	0.008	0.040	0.020	0.140
Bossik лента ПСУЛ 10x10x8 (ООО “Нева-Торг”, Ленинградская обл., Российская Федерация)	[87]	0.004	0.010	0.010	0.071

Таким образом, требуемое сопротивление паропроницанию наружного слоя (п. А.1.7) при требуемом коэффициенте паропроницаемости (или просто паропроницаемости) ПСУЛ (п. А.2.5) обеспечивается, но тем не менее, ни одно, ни второе фиксируемое значение не обосновывается.

Предыдущая редакция документа ГОСТ 25898-2012 “Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию” [56] содержала больше терминов и формул. Например, документ [56] рассказывал о нахождении S_d , толщины слоя неподвижного воздуха, имеющего сопротивление паропроницанию, эквивалентное сопротивлению паропроницанию испытуемого образца толщиной d . Научные исследования,

например, [51], [52], [88] и другие связывают паропроницаемость и данный параметр. Формула (4), определяет S_d на основании [56]:

$$S_d = \frac{\mu_a}{\mu} \cdot d, \quad (4)$$

где μ_a это паропроницаемость слоя неподвижного воздуха, измеряемая в $\text{мг}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$, а μ и d тоже самое, что и в формуле (3). Паропроницаемость слоя неподвижного воздуха μ_a в свою очередь находится по графику зависимости μ_a от давления воздуха при температуре 23°C в ГОСТ 25898-2012 “Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию” [56]. Альтернативно паропроницаемость слоя неподвижного воздуха μ_a определяется по формуле Ширмера (5):

$$\mu_a = \frac{0.083 \cdot p_0}{R \cdot T \cdot p} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1.81}. \quad (5)$$

В формуле (5) p_0 это нормальное атмосферное давление, p это среднее давление, T это температура, R это газовая постоянная для водяного пара [89]. Учитывая корреляцию между уравнениями (3) и (4), сопротивление паропроницанию преобразуется в эквивалентную толщину неподвижного воздушного слоя, обладающего аналогичным сопротивлением паропроницанию. При расчете учитывается, что нормальное давление составляет 1013 гПа и для него характерна паропроницаемость слоя неподвижного воздуха $1.97 \cdot 10^{-10}$ в $\text{мг}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}$. Нормируемые сопротивления паропроницанию ($R_{\text{Vapor permeability}}$ не более 0.25 $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$ для наружного слоя и не менее 2 $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$ для внутреннего слоя) пересчитаны в S_d . Для наружного слоя S_d составляет 0.1173 м, а для внутреннего 0.9384 м. По классификации, приведенной в [55], и согласно условию (2) наружный слой является паропроницаемым, значения для внутреннего слоя не согласовываются.

ГОСТ 25898-2012 “Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию” [56] является аналогом ISO 12572:2001 “Hydrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties” [90]. Работа [91] также перечисляет другие стандарты по определению паропроницаемости материалов: DIN EN ISO 12572:2001-09 “Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit” [92], JIS Z 0208-76. Japanese Standard: JIS Z 0208-76 “Testing methods for determination of the water vapour transmission rate of moisture-proof packaging materials (dish method)” [93]. Объединяет данные стандарты метод определения паропроницаемости материалов, основанный на гравиметрии и предложенный впервые К. Ф. Фокиным в 30-е годы [94].

ГОСТ 23166-2021 “Конструкции оконные и балконные светопрозрачные ограждающие. Общие технические условия” [95] не раскрывает деталей монтажа и характеристик материалов монтажного шва. Нормативный документ [95] уточняет, что использование герметиков на кислотной основе, оказывающей химическое воздействие на защитные (гальванические) покрытия деталей фурнитуры, замков и петель, исключено.

ГОСТ 34378-2018 “Конструкции ограждающие светопрозрачные. Окна и двери. Производство монтажных работ, контроль и требования к результатам работ” [96] характеризует “монтажный шов” как заполнение монтажного зазора тепло- и звукоизоляционными материалами различного вида. Определение “монтажного зазора” дословно совпадает с определением в ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия” [39]. “Герметиками” норматив [96] называет герметизирующие и уплотняющие материалы и изделия на основе полимеров, которые наносят или устанавливают в зазоры между сборными элементами с целью защиты стыковых соединений от проникания воздуха и (или) атмосферной влаги. “Монтажная пена”, из которой выполняется центральный слой монтажного шва, характеризуется как вспенивающийся и полимеризующийся после вспенивания материал, обладающий тепло- и звукоизолирующими свойствами, используемый для заполнения монтажных зазоров. “Гидроизоляцией монтажного шва” называется защита монтажного шва со стороны улицы, обеспечивающая его водонепроницаемость, а также повышающая воздухо- и

звуконепроницаемость окна. “Пароизоляцией монтажного шва” называется защита монтажного шва со стороны помещения, обеспечивающая его воздухонепроницаемость и исключающая диффузию водяного пара. ГОСТ 34378-2018 “Конструкции ограждающие светопрозрачные. Окна и двери. Производство монтажных работ, контроль и требования к результатам работ” [96] сосредоточен на подробном описании технологических операций проведения монтажных работ по устройству окна и составлению соответствующей исполнительной документации.

ГОСТ 23166-99 “Блоки оконные. Общие технические условия” [97] перечисляет условия, которые должны быть выполнены при проектировании и исполнении узлов примыкания оконного блока к стековому проему:

1. заделка монтажных зазоров между изделиями и откосами проемов стековых конструкций должна быть плотной, герметичной, рассчитанной на выдерживание климатических нагрузок снаружи и условий эксплуатации внутри помещений;
2. конструкции узлов примыкания (включая расположение оконного блока по глубине проема) должны препятствовать образованию мостиков холода, приводящих к образованию конденсата на внутренних поверхностях оконных проемов;
3. эксплуатационные характеристики конструкций узлов примыкания и применяемых материалов должны отвечать требованиям, установленным в действующих нормативных документах;
4. герметизация швов со стороны помещений должна быть более плотной, чем снаружи;
5. при выборе заполнения монтажных зазоров следует учитывать эксплуатационные температурные изменения габаритных размеров изделий;
6. полимерные материалы, применяемые при монтажных работах, должны иметь гигиеническое заключение здравоохранительных органов о возможности их применения в строительстве.

ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020 “Здания и сооружения. Общие термины” [98] представляет собой нормативный документ, гармонизированный с международным стандартом ISO 6707-1:2020 “Buildings and civil engineering works — Vocabulary — General Terms” [99] (то есть являющийся его прямым аналогом). В контексте исследования монтажного шва узла примыкания оконного блока к стековому проему интерес представляют термины: конструкция (3.3.1.2), соединение (3.3.5.34), герметик (3.3.5.56), материал (3.4.1.1), строительное изделие (3.4.1.2). “Герметиком” называется материал, прикладываемый в аморфном состоянии, который после отверждения или высушивания приобретает адгезионные и когезионные характеристики в целях изоляции стыковых соединений. В свою очередь, под “материалом” ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020 [98] понимает вещество, используемое для создания изделий или объектов капитального строительства. За “соединение” ГОСТ Р ИСО 6707-1-2020 [98] принимает строительную конструкцию, образованную двумя или более смежными изделиями, компонентами или сборными конструкциями в ходе сборки. “Конструкция” определена нормативным документом [98] как упорядоченная система взаимосвязанных элементов, предназначенная для обеспечения определенной меры прочности и жесткости. “Строительным изделием” в свою очередь является предмет, изготовленный или обработанный для употребления в объектах капитального строительства. Исходя из перечисленной терминологии, а также учитывая терминологию ГОСТ 30971-2012 “Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стековым проемам. Общие технические условия” [39], монтажный шов нельзя однозначно трактовать как “строительную конструкцию” или как “строительное изделие”, так как ни в одном определении рассмотренных в п.3.2 терминов не содержится слова “изделие” или “конструкция”. Монтажный шов, по мнению авторов данной статьи, следует считать набором функционально взаимодополняющих слоев для изоляции и герметизации зазора между конструкциями (например, оконной рамой и стеной). Подобным набором слоев является дорожная одежда, пирог кровли или стены. Материалы монтажного шва работают в едином составе и обеспечивают защиту здания от внешних воздействий.

4 Conclusions

Анализ научных исследований выявил недостаток эмпирических данных и теоретических исследований по монтажному шву узла примыкания оконного блока к стековой конструкции. Ограниченнное количество публикаций (174 публикаций) затрагивает данную тему. Найденные исследования подчеркивают, что монтажный шов является ответственным элементом, влияющим

на эксплуатационные характеристики и долговечность ограждающих конструкций и зданий в целом. Поиск статей осуществлялся в научных базах и Scopus и Elibrary (ООО "НЭБ").

В данной статье подробно рассмотрена структура монтажного шва и функциональное значение каждого слоя монтажного шва. Представлена классификация герметизирующих материалов, а также сравнительный анализ полиуретановых, силиконовых и MS-полимерных герметиков.

Обзор нормативной документации, регулирующей требования к монтажным швам, выявил несогласованность и противоречия в части проектирования и выбора материалов. Нормативный стандарт ГОСТ 30971-2012 "Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия" содержит положения, которые, с одной стороны, указывают на необходимость проектирования монтажных швов с учетом материала наружных стен и геометрии оконных проемов. С другой стороны, общая концепция стандарта заключается в выделении монтажных швов в самостоятельные и самодостаточные элементы, характеристики которых назначаются без какой-либо привязки к характеристикам ограждающих конструкций или климатическим особенностям региона строительства. Однако, научные исследования подтверждают, что выбор материалов ограждающих конструкций и их частей должен базироваться на климатических условиях эксплуатации. Требуемые значения сопротивления паропроницаний для слоев монтажного шва из ГОСТ 30971-2012 не имеют достаточного научного обоснования.

Результатом проведенного анализа также является трактовка монтажного узла как набора функционально взаимодополняющих слоев (пароизоляция, теплоизоляция и гидроизоляция) для изоляции и герметизации зазора между конструкциями.

Выявленный недостаток эмпирических данных и теоретических исследований по монтажному шву, а также обнаруженные противоречия и необоснованности в нормативных стандартах указывают на необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на разработку методики назначения (выбора) характеристик материалов при проектировании узлов примыканий и монтажных швов в контексте влажностного режима с учетом внешнего и внутреннего климата.

5 Финансирование / Fundings

This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment No 075-03-2025-256 dated 16 January 2025, Additional agreement No 075-03-2025-256/1 dated March 25, 2025, FSEG-2025-0008I

References

1. Li, H.Y., Wu, H.N., Cao, H. and Chen, R.P. (2026) Long-term waterproof performance of EPDM sealing gaskets considering aging-induced stress relaxation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **168**, 107117. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2025.107117>
2. Linløkken, T.K., Geving, S. and Hrynyszyn, B.D. (2024) Development of a test method for adhesive tapes certification and application. *Frontiers in Built Environment*, **10**, 1411586. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1411586>
3. Wang, S., Zeng, K., Song, S., Zhang, L., Zhang, M. and Zhang, W. (2025) Green biomass nanoparticle reinforced foam based on gas-liquid interface microenvironment modification and its application in porous cement-based energy-saving materials. *Journal of Building Engineering*, **111**, 113425. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.113425>
4. Kong, X., Cui, B., Zhao, Y., Yuan, J., Yuan, J., Chai, J., Zhong, Y. and Xu, B. (2025) A novel flexible dual-mode phase change material for year-round energy saving. *Journal of Energy Storage*, **124**, 116912. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.116912>
5. Kotlyarskaya, I.L., Vatin, N.I. and Nemova, D.V. (2022) Thermal conductivity of aerogel thermal insulation under stationary thermal conditions. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **103(5)**, 10303–10303. <https://doi.org/10.4123/10.4123/cubs.103.3>
6. Vatin, N.I., Pestryakov, I.I., Sultanov, S.T., Ogidan, T., Yarunicheva, Y.A. and Kiryushina, A.P. (2018) Water vapour by diffusion and mineral wool thermal insulation materials. *Magazine of Civil Engineering*, **81(5)**, 183–192. <https://doi.org/10.18720/MCE.81.18>
7. Sinnott, D. and Dyer, M. (2012) Air-tightness field data for dwellings in Ireland. *Building and*

Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N.

Assembly joints: A review of scientific literature, standards and terminology;
2025; AlfaBuild; 35 Article No 3501. doi: 10.57728/ALF.35.1



8. *Environment*, **51**, 269–275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.016>
9. Emmerich, S. , McDowell, T. and Anis, W. (2005), Investigation of the Impact of Commercial Building Envelope Airtightness on HVAC Energy Use, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), *National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD*. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=860985
10. Korniyenko, S.V. (2014) Complex assessment of energy efficiency and thermal performance for buildings. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **26(11)**, 33–48. <https://unistroy.spbstu.ru/article/2014.26.3>
11. Zhao, J., Zhang, J., Grunewald, J. and Feng, S. (2021) A probabilistic-based method to evaluate hygrothermal performance of an internally insulated brick wall. *Building Simulation*, **14(2)**, 283–299. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0702-6>
12. Tengberg, C.S., Olsson, L. and Hagentoft, C.E. (2021) Risk Assessment of Joint Sealing Tape in Joints between Precast Concrete Sandwich Panels Resilient to Climate Change. *Buildings*, **11(8)**, 343. <https://doi.org/10.3390/buildings11080343>
13. Hu, X., Zhang, H., Qian, T. and Feng, C. (2024) Modeling of wind-driven rain absorption ratio of building exterior finishing materials based on field measurements. *Frontiers of Architectural Research*, **13(5)**, 1145–1157. <https://journal.hep.com.cn/foar/10.1016/j.foar.2024.04.002>
14. Baheru, T., Chowdhury, A.G., Pinelli, J.P. and Bitsuamlak, G. (2014) Distribution of wind-driven rain deposition on low-rise buildings: Direct impinging raindrops versus surface runoff. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **133**, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2014.06.023>
15. Chen, Y., Mao, C., Chen, G. and He, Y. (2025) Impact of Moisture Migration on Heat Transfer Performance at Vertical Joints of ‘One-Line’ Sandwich Insulation Composite Exterior Walls. *Buildings*, **15(7)**, 1084. <https://doi.org/10.3390/buildings15071084>
16. He, L. and Zou, D. (2025) A Study on the Thermal and Moisture Transfer Characteristics of Prefabricated Building Wall Joints in the Inner Mongolia Region. *Buildings*, **15(13)**, 2197. <https://doi.org/10.3390/buildings15132197>
17. Hauer, L., Wong, W.S.Y., Sharifi-Aghili, A., Kondic, L. and Vollmer, D. (2021) Frost spreading and pattern formation on microstructured surfaces. *Physical Review E*, **104(4)**. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.104.044901>
18. Huff, D.N. (2008) Non-destructive testing of elastomeric joint sealants in construction. 11th DBMC International Conference of Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, 1–5. <https://www.irb.fraunhofer.de/CIBlibrary/search-quick-result-list.jsp?idSuche=CIB+DC13128>
19. Olsson, L. (2015) Long-term Field Measurements of Moisture in Wooden Walls with Different Types of Facades: Focus on Driving Rain Tightness. *Energy Procedia*, **78**, 2518–2523. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.258>
20. Van Linden, S. and Van Den Bossche, N. (2019) On the feasibility of watertight face-sealed window-wall interfaces. *MATEC Web of Conferences*, **282**, 02015. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928202015>
21. Van Linden, S. and Van Den Bossche, N. (2021) Comparative study on the feasibility of watertight face-sealed building joints under simulated wind-driven rain conditions. *Building Research & Information*, **49(7)**, 748–762. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1888687>
22. Arteaga, B., Støver, E.A., Haugen Sundsøy, M., Andenaes, E., Geving, S. and Kvande, T. (2022) Rain Intrusion through Horizontal Joints in Façade Panel Systems—Experimental Investigation. *Buildings*, **12(10)**, 1497. <https://doi.org/10.3390/buildings12101497>
23. Olsson, L. (2024) Driving rain tightness and defects of prefabricated concrete sandwich walls with joints, windows and balconies. *Science and Technology for the Built Environment*, **30(7)**, 733–743. <https://doi.org/10.1080/23744731.2024.2366129>
24. Vytchikov, Y.S., Saparev, M.E. and Konyakina, D.D. (2024) Improving the thermal protection characteristics of the seams of the mounting assemblies of the window blocks to the wall openings. Traditions and innovations in construction and architecture. *Construction and construction technologies*, 652–662. <https://elibrary.ru/item.asp?id=68590280>
25. Montoya, F.G., Alcayde, A., Baños, R. and Manzano-Agugliaro, F. (2018) A fast method for identifying worldwide scientific collaborations using the Scopus database. *Telematics and*

- Informatics*, **35(1)**, 168–185. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.10.010>
26. Sudakova, A. and Agarkov, G. (2025) Dataset on Scientometrics of Russian Scientists: eLibrary Case Study. *Educational Studies Moscow*, **(1)**, 304–330. <https://doi.org/10.17323/vo-2025-21514>
27. Pechnikov, A.A. (2021) Comparative analysis of scientometrics indicators of journals MATH-NET.RU and ELIBRARY.RU. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta- Upravlenie, Vychislitel'naya Tekhnika i Informatika*, **(56)**, 112–121. <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access%20/manager/Repository/koha:000720713>
28. Cherkasov, V.D. and Borodin, A.V. (2025) Influence of technological additives on the adhesive properties of sealant. *Building and Reconstruction*, **0(3)**, 129–135. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2025-119-3-129-135>
29. Lu, L., Zhao, D., Fan, J. and Li, G. (2022) A brief review of sealants for cement concrete pavement joints and cracks. *Road Materials and Pavement Design*, **23(7)**, 1467–1491. <https://doi.org/10.1080/14680629.2021.1898452>
30. Khayrullin, I.K. (2014) Sealing Materials in Modern Construction. *Building materials*, **(5)**, 95–98. <https://cyberleninka.ru/article/n/germetiziruyuschie-materialy-v-sovremennom-stroitelstve>
31. Orlowski, K., Shanaka, K. and Mendis, P. (2018) Design and Development of Weatherproof Seals for Prefabricated Construction: A Methodological Approach. *Buildings*, **8(9)**, 117. <https://doi.org/10.3390/buildings8090117>
32. Orlowski, K., Shanaka, K. and Mendis, P. (2018) Manufacturing, Modeling, Implementation and Evaluation of a Weatherproof Seal for Prefabricated Construction. *Buildings*, **8**, Page 120. 2018. 8(9). Pp. 120. DOI:10.3390/BUILDINGS8090120. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/9/120/htm> (date of application: 13.10.2025).
33. Kotlyarskaya, I.L., Vatin, N.I., Gravit, M.V., Abdikarimov, R.A. and Shinkareva, M.K. (2023) Fire resistance of enclosing structures in modular construction. A review. *AlfaBuild*, **29(4)**, 2906–2906. <https://doi.org/10.57728/ALF.29.6>
34. Cong, P., Liu, C. and Zhang, X. (2025) Preparation of thermoplastic polyurethane sealant and its adherence properties under various environments. *Composites Part B: Engineering*, **293**, 112125. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2025.112125>
35. Nam, J., Park, K., Yang, S. and Kim, S. (2024) Advancing building fire safety through heat resistant and flame retardant hybrid silicone sealant. *Journal of Building Engineering*, **91**, 109528. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109528>
36. Jiang, H., Ziegler, H., Zhang, Z., Meng, H., Chronopoulos, D. and Chen, Y. (2020) Mechanical properties of 3D printed architected polymer foams under large deformation. *Materials & Design*, **194**, 108946. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108946>
37. (2025) Reduction in the relative density of foamed thermal insulation (in Rus). *Window production*, **2(82)**, 30–31. <https://elibrary.ru/item.asp?id=82413041> (date of application: 20.10.2025)
38. Konstantinov, A.P. and Semenov, V.S. (2019) Strength and deformation characteristics of modern pu-foams economy class. *Building materials*, **3**, 28–32. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-28-32>
39. GOST 30971-2012 Erection to joints of window assemblies adjoined to wall openings. General specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200102010> (date of application: 19.09.2025).
40. Ishenko, A.I., Novikov, S.N. The study of efficiencies interpanel seam panel building series 121T during operation. *Fundamental and applied scientific research: current issues, achievements and innovations*, 18–22. <https://elibrary.ru/item.asp?id=38148849>
41. GOST 31704-2011 (EN ISO 354:2003) Sound absorbing materials. Sound absorption measurement method in reverberation room. <https://docs.cntd.ru/document/1200097748>
42. ISO 9613-1-1996 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. <https://docs.cntd.ru/document/440181387>
43. Tiuc, A.E., Vermeşan, H., Gabor, T. and Vasile, O. (2016) Improved Sound Absorption Properties of Polyurethane Foam Mixed with Textile Waste. *Energy Procedia*, **85**, 559–565. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.245>
44. Su, Y.-H., Liu, Y.-P., Vasic, D., Shafiq, M., Azahari, M., Zafiah, A., Rus, M., Zaliran, M.T. and Kormin, S. (2017) Improving sound absorption property of polyurethane foams doped with natural fiber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **226(1)**, 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/012009>
45. Dulak, L. and Nowoświat, A. (2025) Effect of Window Structure and Mounting on Sound Insulation:

46. A Laboratory-Based Study. *Sustainability*, **17(15)**, 6892. <https://doi.org/10.3390/su17156892>
46. Trushkin, D.V. and Kand rashkin, E.S. (2015) Problems of ensuring fire-resistance of fire-prevention barriers when laying engineering communications. *Fire and Explosion Safety*, **24(12)**, 15–21. <https://doi.org/10.18322/PVB.2015.24.12.15-21>
47. Gordeev, N.A. and Godunova, G.N. (2017) Fire resistance ensuring of structural openings for cablings in fire stop barriers with using of the thermoexpansion fire-resistant foam and fire-resistant polyurethane foam. *Fire and Explosion Safety*, **26(4)**, 37–40. <https://doi.org/10.18322/PVB.2017.26.04.37-40>
48. Myrtazov, R.G., Isaev, A.M. and Pishylinina, A.D. (2021) Investigation of organic mounting foams by the method of synchronous thermal analysis for the purposes of fire-technical expertise. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47139112>
49. Gravit, M.V., Kotlyarskaya, I.L. and Abdulova, D.I. (2024) Non-combustible composite materials for fire curtains: thermal analysis and microscopy. *Magazine of Civil Engineering*, **127(3)**, 12705–12705. <https://doi.org/10.34910/MCE.127.5>
50. Wang, J., Zhang, L., Tang, H., Liu, Y., Wang, Y., Wang, X. and Gao, M. (2025) Novel biodegradable extinguishing gel: Preparation, fire-extinguishing performance and mechanism study. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **726**, 137961. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.137961>
51. Hansen, S.S., Thomsen, M.A., Morelli, M. and Rasmussen, T.V. Requirements of the Vapour Barrier in Wood-Frame Walls. *Buildings*, **14(10)**, 3186. <https://doi.org/10.3390/buildings14103186>
52. Morelli, M., Rasmussen, T.V. and Therkelsen, M. (2021) Exterior Wood-Frame Walls—Wind–Vapour Barrier Ratio in Denmark. *Buildings*, **11(10)**, 428. <https://doi.org/10.3390/buildings11100428>
53. Johnsen, I.H., Andenæs, E., Gullbrekken, L., and Kvande, T. (2022) Vapour resistance of wind barrier tape: Laboratory measurements and hygrothermal performance implications. *Journal of Building Physics*, **46(1)**, 923–940. <https://doi.org/10.1177/17442591211057188>
54. Bergheim, E., Geving, S. and Gullbrekken, L. (2020) Bruk av eldre sperre- sjikt ved etterisolering. *FRA EKSPERTENE: NTNU*, **(3)**, 26. https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2647762/Pages%2Bfrom%2BByggeindustrien_03.pdf?sequence=1&isAllowed=y
55. Geving, S., Sletnes, M., Gullbrekken, L., Frank, S. and Ruther, P. (2023) Tetting av bygningskroppen ved bruk av teipprodukter. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2024/tetting-av-bygningskroppen-ved-bruk-av-teipprodukter/>
56. GOST 25898-2012 “Building materials and products. Methods for determination of water vapor permeability and water vapor resistance”. <https://docs.cntd.ru/document/1200100939>
57. Vanpachtenbeke, M., Langmans, J., Van den Bulcke, J., Van Acker, J. and Roels, S. (2018) On the hygrothermal behaviour of brick veneer cladded timber frame walls: the role of the vapour diffusion resistance of the wind barrier. *International Building Physics Conference 2018*. <https://surface.syr.edu/ibpc/2018/BE6/10> (date of application: 27.10.2025).
58. Vinha, J. (2007) Hygrothermal Performance of Timber-Framed External Walls in Finnish Climatic Conditions: A Method for Determining the Sufficient Water Vapour Resistance of the Interior Lining of a Wall Assembly. *Tampere University of Technology*, 380 ISBN:978-952-15-1742-6.
59. Konstantinova, N.I., Afanasieva, G. V., Norbert, P. Research in Fire Safety of Hydro-Windproof Membranes for Enclosing Structures. *Building materials (in Rus)*. 2014. 2. Pp. 21–27.
60. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 2006. Pp. 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
61. Farrington, E., Anderson, T., Grant, L. and Seraderian, R. (2019) Precast concrete-to-precast concrete facade joints using precompressed expandable foam. *PCI Journal*, **64(6)**. https://www pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI_Journal/2019/November-December/19-0001_Seraderian_ND19.pdf
62. DS/EN 1027:2000Webshop Dansk Standard. URL: <https://webshop.ds.dk/en/standard/18452/ds-en-1027-2000>
63. Fufa, S.M., Labonnote, N., Frank, S., Rüther, P. and Jelle, B.P. (2018) Durability evaluation of adhesive tapes for building applications. *Construction and Building Materials*, **161**, 528–538. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.056>
64. Sealants, comparative characteristics. <https://argarus.com/klei-i-germetiki/sravnitelnye-Kotliarskaia, I.; Ulanov, A.; Vatin, N. Assembly joints: A review of scientific literature, standards and terminology; 2025; AlfaBuild; 35 Article No 3501. doi: 10.57728/ALF.35.1>

- kharakteristiki-germetikov?ysclid=mh0bub7jcz345512255
65. Pavlidou, S. and Papaspyrides, C.D. (2008) A review on polymer-layered silicate nanocomposites. *Progress in Polymer Science*, **33**(12), 1119–1198. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.07.008>
66. Kovtyn, A.V. Use of sealants in construction (in rus). Current issues in technical sciences in modern conditions/Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and practical conference. 2015. Pp. 151. URL: <https://new.izron.ru/articles/aktualnye-voprosy-tehnicheskikh-nauk-v-sovremennoykh-usloviyakh-sbornik-nauchnykh-trudov-po-itogam-m-sektsiya-10-stroitelstvo-i-arkhitektura-spetsialnost-05-23-00/primenenie-germetikov-v-stroitelstve/> (date of application: 21.10.2025).
67. Ding, S.H., Liu, D.Z. and Duan, L.L. (2006) Accelerated aging and aging mechanism of acrylic sealant. *Polymer Degradation and Stability*, **91**(5), 1010–1016. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2005.08.006>
68. Zhang, Y., Zhao, Y., Mu, X., He, W., Xiong, C. and Wang, S. (2025) Robust self-healing polysulfide sealant via synergistic dynamic disulfide bonds and microencapsulated healing agents. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **726**, 138150. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2025.138150>
69. ASTM D2240 Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness US Lab. URL: <https://matestlabs.com/test-standards/astm-d2240/>
70. Lee, D., Kim, J.H., Yang, S.B. and Kwon, D.J. (2025) Comparison of oil resistance and adhesion durability between polysulfide sealant and polyurethane sealant. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2025.09.041>
71. Hou, K.X., Zhao, P.C., Duan, L., Fan, M., Zheng, P. and Li, C.H. (2023) Bitumen-Like Polymers Prepared via Inverse Vulcanization with Shear Stiffening and Self-Healing Abilities for Multifunctional Applications. *Advanced Functional Materials*, **33**(51), 2306886. <https://doi.org/10.1002/adfm.202306886>
72. Wu, Y., Lai, Q., Wang, H., Yin, R., Wang, Z., Chen, L. and Lai, F. (2024) The bitumen development effect on the pore structure and electrical resistivity of carbonate reservoirs in the Sinian Dengying Formation. *Journal of Geophysics and Engineering*, **21**(2), 372–382. <https://doi.org/10.1093/jge/gxae008>
73. Behera, P.K., Kumar, A., Mohanty, S. and Gupta, V.K. (2022) Overview on Post-Polymerization Functionalization of Butyl Rubber and Properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **61**(46), 16910–16923. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c03103>
74. Dang, G.P., Gu, J.T., Wan, Q.Q. and Niu, L.N. (2023) Polyurethanes for Sealants. *ACS Symposium Series*, **1453**, 153–168. <https://doi.org/10.1021/BK-2023-1453.CH009>
75. Timakova, K.A. and Panov, U.T. (2014) Polyurethane construction sealants with low flammability and high performance properties. *Advances in Chemistry and Chemical Engineering*, **28**(4 (153)). <https://cyberleninka.ru/article/n/poliuretanovyy-stroitelnyy-germetik-s-ponizhennoy-goryuchestyu-i-vysokimi-ekspluatatsionnymi-svoystvami>
76. Loginova, S.E., Gladkikh, S.N., Kurilova, E.A. and Nikonova, N.V. (2023) Application of MS-Polymer Based Adhesive–Sealants for Glazing and Glass Sealing. *Polymer Science - Series D*, **16**(2), 359–364. <https://doi.org/10.1134/S199542122302020X>
77. Loginova, S.E., Gladkikh, S.N., Kurilova, E.A. and Nikonova, N.V. (2021) Hybrid Polyurethane Adhesive Sealants with Increased Strength Characteristics. *Polymer Science - Series D*, **14**(2), 156–159. <https://doi.org/10.1134/S1995421221020143>
78. Loginova, S.E., Gladkikh, S.N., Kurilova, E.A., Nikonova, N. V. and Kalinina, I.G. (2023) On the Possibility of Using Adhesive–Sealants Based on MS-Polymers for Structural Glazing. *Polymer Science - Series D*, **16**(2), 261–267. <https://doi.org/10.1134/S1995421223020193>
79. Hakimullin, Y.N., Galimzianova, R.Y. and Kurkin, A.I. (2014) Sealing materials based on elastomers in construction. *Polymers in Construction: A Scientific Online Journal*, **1**(1), 126–149.
80. Imamytdinov, I.V., Galimzianova, R.U. and Khakimylin, U.N. (2015) Elastomer-based sealants. *Bulletin of Kazan Technological University*, **18**(6). <https://cyberleninka.ru/article/n/germetiki-na-osnove-elastomerov>
81. GOST R 52749-2007 Assembly window joints with vapour-permeable and self-expanding tapes. Specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200054029>
82. GOST 30971-2002 Erection to joints of window assemblies adjoined to wall openings. General specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200031043>

83. Varentsov, M., Shartova, N., Grischenko, M. and Konstantinov, P. (2020) Spatial Patterns of Human Thermal Comfort Conditions in Russia: Present Climate and Trends. *Weather, Climate, and Society*, **12(3)**, 629–642. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-19-0138.1>
84. GOST 25898-2020 Building materials and products. Methods for determination of water vapor permeability and water vapor resistance. <https://docs.cntd.ru/document/1200177305>
85. PSUL 30 15x40, 5 m RMPSUL1540. URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/product/paropronitsaemaya-samorasshiriyayuschayasya-uplotnitelnaya-lenta-remont-na-100-psul-30-15h40-5-m-20-sht-rmpsul1540-18509310/#characteristics>
86. Tape PSUL WipBand 50 20x40. URL: https://citiplast.ru/catalog/?SECTION_ID=868&ELEMENT_ID=18345
87. Bossik (PSUL). URL: <https://zavodbossik.ru/psul>
88. Slanina, P. and Šilarová, Š. (2009) Moisture transport through perforated vapour retarders. *Building and Environment*, **44(8)**, 1617–1626. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.10.006>
89. Araslankin, S.V. and Buryanov, A.F. (2024) Quick Determination of Water Vapor Permeability and Water Vapor Resistance of Plasters and Putties. *Construction materials*, **11**, 4–8. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-830-11-4-8>
90. ISO 12572:2001 Hygrothermal performance of building materials and products -- Determination of water vapour transmission properties. <https://www.sis.se/en/produkter/construction-materials-and-building/protection-of-and-in-buildings/thermal-insulation-of-buildings/iso125722001/> (date of application: 28.10.2025).
91. Idirgalieva, A.A. and Aubakirova, B.M. (2025) Standard methods for determining the vapor permeability of building materials, their advantages and disadvantages. *In The World Of Science and Education*, **1**, 91–94. <https://cyberleninka.ru/article/n/standartnye-metody-opredeleniya-paropronitsaemosti-stroitelnyh-materialov-ih-dostoinstva-i-nedostatki>
92. DIN EN ISO 12572:2017-05 Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of water vapour transmission properties - Cup method. <https://dx.doi.org/10.31030/2429972>
93. Standard JIS Z 0208. <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/jis-z-0208/testing-methods-for-determination-of-the-water-vapour-transmission-rate-of-as011950/297321>
94. Fokin, K.F. (2006) Stroitelnaya teplotekhnika ogranzhdayushchih chastej zdanij. <https://dwg.ru/lib/2372>
95. GOST 23166-2021 Window and balcony translucent enclosing constructions. General specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200179605>
96. GOST 34378-2018 Translucent enclosing structures. Windows and doors. Installation work execution, check and demands for results of works. <https://docs.cntd.ru/document/1200160578>
97. GOST 23166-99 WINDOWS. General specifications. <https://docs.cntd.ru/document/1200006801>
98. GOST R ISO 6707-1-2020 Buildings and constructions. General terms. <https://docs.cntd.ru/document/1200177284>
99. ISO 6707-1:2020 Buildings and civil engineering works - Vocabulary - Part 1: General terms. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/77077/391ab2d03b8e414190a30a50062632ad/ISO-6707-1-2020.pdf>