



Особенности проектирования трёхслойных ограждающих конструкций

А.К. Турчаненко¹, С.И. Смирнов²

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

УДК 692.232.45

Аналитический обзор

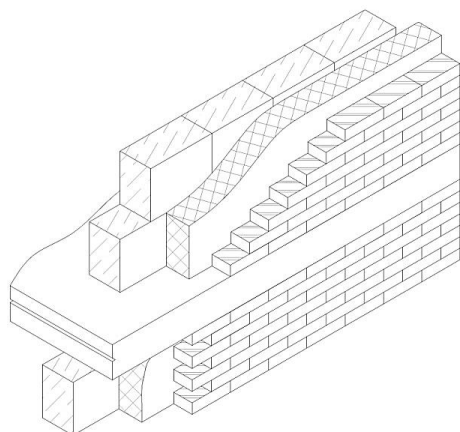
История

Подана в редакцию 21 мая 2014
Принята 24 октября 2014

Ключевые слова

трехслойные ограждающие конструкции, срок службы неоднородной конструкции, эффективный утеплитель, выпадение конденсата, разрушение связей, ремонтпригодность

АННОТАЦИЯ



В связи с утверждением программы по увеличению энергетической эффективности возросло внимание к проблеме рационального расходования тепловой энергии.

Широко используемые трехслойные ограждающие конструкции имеют важные конструктивные особенности. В статье рассмотрены ключевые особенности проектирования данных конструкций.

Описаны принципы работы всех компонентов стены. Особое внимание уделено ошибкам проектирования и монтажа трёхслойных стен. Даны рекомендации по увеличению безремонтного срока службы путем выполнения специальных конструктивных требований.

Содержание

1. Введение	109
2. Цель работы	109
3. Принципы устройства трёхслойных стен	109
4. Особенности работы трёхслойных стен	110
5. Ошибки проектирования и монтажа трёхслойных стен	112
6. Заключение	113

1

Контактный автор:

+7 (921) 339 2786, turchanenko@mail.ru (Турчаненко Артемий Константинович, студент)

2

+7 (981) 731 7162, smirnovsta@mail.ru (Смирнов Станислав Игоревич, студент)

1. Введение

27 декабря 2010 года была утверждена Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» [90]. Её целью является сокращение энергоёмкости валового внутреннего продукта на 13,5% за счёт снижения доли энергетических издержек. К 2020 году это должно дать экономию на приобретение энергоресурсов в 1,73 триллиона рублей. Программа является важным приоритетом Российской Федерации, поэтому с выходом СП 50.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий" требования к уровню теплоизоляции ограждающих конструкций были значительно увеличены [2].

Теплотехнические расчеты показывают, что новым требованиям удовлетворяют многослойные стены с эффективным утеплителем. Так как соблюдение требований СП 50.13330.2012 является обязательным, то это привело к увеличению объёмов проектирования и строительства трёхслойных конструкций, которые удовлетворяли бы современным нормам энергосбережения [1, 3].

2. Цель работы

Для достижения высоких показателей энергоэффективности здания необходимо не только применять инновационные материалы, но и учитывать особенности их совместной работы [4-10]. Для этого необходимо провести анализ каждого конструктивного элемента трёхслойной стены и обозначить предъявляемые к ним требования. Для более точного анализа стены как многослойной оболочки необходимо учесть физические процессы, происходящие в каждом слое, а также процессы, перетекающие между слоями.

Необходимо обозначить ряд проблем, возникающих при эксплуатации, а также предложить конструктивные требования, учитывающие совместную работу всех слоёв. Выполнение данных требований позволит увеличить безремонтный срок службы, и, следовательно, снизить издержки на эксплуатацию здания, а также обеспечить правильную работу многослойной конструкции, что позволит снизить издержки на энергоносители.

3. Принципы устройства трёхслойных стен

В статье рассматриваются элементы трёхслойной стены и основные требования, предъявляемые к каждому элементу, таким как несущий слой, теплоизоляция, вентилируемый зазор, облицовка и связи (рисунок 1).

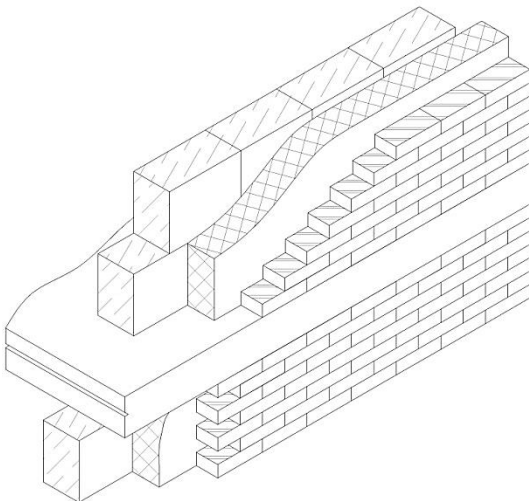


Рисунок 1. Разрез трёхслойной стены

Как правило, внутренний слой является несущим элементом системы, и важнейшие требования, предъявляемые к этому слою – механические. Наибольшее распространение получил монолитный железобетон, керамический и силикатный кирпич, пенобетонные и газосиликатные блоки. Кроме этого, несущий слой имеет термическое сопротивление, но оно значительно меньше, чем сопротивление утеплителя, располагающегося на внешней стороне несущего слоя, поэтому основной вклад в энергосбережение вносит утеплитель.

Утеплитель не испытывает внешних длительных и кратковременных нагрузок, поэтому к нему предъявляются только теплотехнические требования. Он обеспечивает требуемый тепло-влажностный режим внутренних помещений, а также выполняет звукоизолирующие функции. Помимо этого, к утеплителю предъявляются специальные требования по долговечности, так как ремонтно-восстановительные работы невозможно произвести без разбора внешнего слоя, что означает значительные денежные затраты для эксплуатирующей организации [12, 17, 18]. Основные требования, предъявляемые к теплоизоляции – гидрофобность (водопоглощение по объёму не более 1%) и устойчивость к усадке. Срок службы утеплителя является наименьшим из всей трёхслойной конструкции, поэтому правильная «работа» стены возможна только до тех пор, пока утеплитель не потеряет проектное термическое сопротивление [11, 13, 15-16]. Наибольшее распространение получили утеплители из пенополистирола и минеральной ваты.

Наружный облицовочный слой защищает утеплитель от внешних погодных и механических воздействий. Наибольшее распространение получил пустотелый керамический кирпич из-за высокой морозостойкости и относительной лёгкости. Требования к морозостойкости вызваны участвовавшими случаями разрушения облицовочных слоёв, порой разрушающихся на высоту целого этажа. Учитывая высоту современных зданий, очевидно, что разрушение даже одного кирпича в кладке может вызывать серьёзные последствия для окружающих [29-31, 52, 60, 63, 65]. Лёгкость облицовочного материала способствует уменьшению нагрузки на несущие элементы сооружения, уменьшая расход материала для таких конструкций.

Типовые решения устройства трёхслойных стен можно разделить на два вида: с устройством воздушного зазора и без него. Устройство воздушного зазора позволяет эффективнее удалять влагу из конструкции, так как избыточная влага из несущей стены и утеплителя будет сразу уходить в атмосферу. В то время как в конструкции без воздушного зазора пар будет проходить и через облицовочный кирпич. Таким образом, взаимное расположение отдельных слоёв ограждающих конструкций должно способствовать высыханию конструкций и исключать возможность накопления влаги в ограждении в процессе эксплуатации в соответствии с требованиями СП 23-101-2004 "Проектирование тепловой защиты зданий", поэтому необходимо проводить расчёт количества отводимой влаги, и, соответственно, ширины вентилируемой прослойки [19-28]. Ширина прослойки зависит от длины канала, разницы температур и плотностей воздуха у концов канала. Вариативность ширины вентзазора влияет на размеры фундамента, то есть на его стоимость, но при проектировании стоит руководствоваться здравым смыслом, ведь экономия на расходе материала фундамента незначительна на фоне замены утеплителя при ускоренных условиях разрушения его структуры [32-38, 40-44].

Важнейшей частью многослойной конструкции являются связи, которые обеспечивают целостность стены и предотвращают расслоение. Такие связи должны иметь высокую прочность на растяжение, высокую долговечность и низкую теплопроводность [14, 39]. С позиции теплотехники эти связи являются "мостиками холода", и они могут значительно снизить термическое сопротивление всей ограждающей конструкции. Очевидно, что самое большое снижение теплосопротивления даёт применение жестких кирпичных связей. Использование связей из нержавеющей стали значительно уменьшает теплопотери, но и такое решение нельзя признать удачным, так как сталь имеет химическую стойкость и термическое сопротивление более низкое, чем полимерные материалы.

Таким образом, перспективный вариант с точки зрения борьбы с мостиками холода – применение специальных стеклопластиковых или базальтопластиковых связей: в этом случае, теплопотери, как правило, не превышают 2%. Коэффициент теплопроводности таких связей 0,45 Вт/м·°С против 50 Вт/м·°С у гибких стальных связей [58, 77].

4. Особенности работы трёхслойных стен

Трёхслойная конструкция является оптимальной по своей стоимости и конечному результату. Может показаться, что трёхслойные стены – это отличное решение для проектирования и строительства по современным нормативным документам, однако у такой конструкции есть свои недостатки, речь о которых пойдёт ниже.

Для грамотного проектирования многослойных стен чрезвычайно важно представлять себе температурно-влажностный режим их работы, так как без соблюдения основных принципов, все усилия по подбору материалов и их толщин будут абсолютно бесполезны. Это объясняется тем, что стена стремительно теряет своё термическое сопротивление и надёжность облицовочного слоя из-за неправильного влагоудаления из внутренней части конструкции [51, 53-54, 56-57].

Рассмотрим подробнее этот процесс: если влажный воздух охлаждать при постоянном влагосодержании, то при достижении температуры точки росы воздух становится полностью насыщенным. При снижении температуры насыщенного воздуха ниже точки росы из воздуха начнет конденсироваться влага. Присутствие влаги в утеплителе увеличивает его теплопроводность, что будет приводить к возрастанию теплопотерь.

Расчеты влажностного режима стен показывают, что в трёхслойных стенах конденсат в утеплителе выпадает в холодное время года практически во всех климатических зонах России. Количество выпадающего конденсата различно, но для большинства регионов укладывается в требования СП 50.13330.2012 "Тепловая защита зданий" [2]. Накопления конденсата в конструкции стены при круглогодичном цикле не происходит за счет высыхания в теплое время года, что также является требованием данного СП [62, 66-74, 76]. Если же температура влажного материала опускается ниже 0 °С,

то влага в материале замерзнет (рисунок 2). Известно, что периодическое замерзание и оттаивание большого количества воды в толще материала разрушает его.

Например, минераловатный утеплитель имеет высокую паропроницаемость и очень низкую морозостойкость. В стенах с минераловатным утеплителем для уменьшения поступления пара в конструкцию со стороны помещения всегда укладывают паронепроницаемую пленку. Без пленки стена имела бы слишком малое сопротивление паропроницанию и, как следствие, в толще утеплителя выделялось и замерзало бы большое количество воды, поэтому через 5-7 лет эксплуатации такой утеплитель просто бы рассыпался.

При положительных температурах количество конденсата сокращается или конденсация совсем отсутствует, если обеспечена вентиляция поверхности утеплителя, например, при устройстве вентзазора. Он позволяет ускорить удаление влаги с «холодной» стороны утеплителя, сохраняя его долговечность. Однако в случае стены без вентзазора может возникнуть ситуация, когда плоскость конденсации сместится в облицовочный слой [81-87]. За этим следует выпучивание облицовочного кирпича, образование трещин и выпадение кирпичей из кладки. Это происходит из-за того, что кирпич попал в неблагоприятные условия работы, несоответствующие его области использования.

Трёхслойные стены имеют сниженный коэффициент однородности и низкую тепловую инертность, из-за которых температурный режим облицовочных слоёв полностью зависит от градиента температур по толщине кирпича. Это значительно снижает морозостойкость кирпича и приводит к его разрушению, поэтому марку по морозостойкости необходимо назначать в соответствии с реальным количеством циклов замораживания – оттаивания, проходящих через стену.

Определение количества циклов – достаточно сложная задача, которая решается только проведением эксперимента, так как количество циклов зависит от множества факторов: амплитуды и периодичности изменения температуры, а, следовательно, и от качества теплоизоляции стены. Поскольку теоретически описать такие процессы удаётся с невысокой достоверностью, то для удачного применения таких конструкций нужно иметь огромное количество экспериментов, ведь для различных районов строительства характерны разные температурные режимы. Таким образом, для удачного применения таких конструкций необходимо изучить вопрос их работы в сложных температурных условиях, учитывая термическое сопротивление всей стены, а не только утеплителя, так как влияние внешнего и наружного слоя может быть различным из-за материала или толщины [88-89, 91-93].

Особое внимание стоит уделить проблеме разных сроков службы каждого слоя. При плохом влагоудалении из конструкции срок службы утеплителя снижается. Утеплитель – это самый недолговечный компонент трёхслойной стены, но и одновременно – самый неремонтопригодный. Ведь для замены утеплителя необходимо разобрать внешний кирпичный слой, а затем уложить новый. Такой ремонт практически неосуществим для многоэтажных городских зданий из-за высокой стоимости. Получается, что при неудовлетворительном качестве утеплителя дом из трёхслойных стен можно назвать фактически «одноразовым», ведь эффективно сберечь тепло он сможет только до тех пор, пока не потребуется ремонт, который в современных реалиях практически невозможен.

Возникает вопрос: производить замену утеплителя или увеличивать расходы на отопление. Как правило, увеличивать расходы на отопление становится выгодно, что выглядит парадоксально, ведь трёхслойные теплоэффективные стены созданы для того, чтобы эти расходы уменьшать. Очевидно, что стена имеет срок службы равный сроку службы самого ненадёжного её компонента [50, 64, 75]. Нередки случаи, когда срок окупаемости утеплителя оказывается больше его реального срока службы. Использование таких стен может оказаться убыточным. Таким образом, положительный экономический эффект от использования таких стен может закончиться ранее запланированного срока. Впоследствии владелец оказывается в плену – либо дорогостоящий ремонт, либо увеличение расходов на теплоносители [79-80]. Для решения этой проблемы требуется всего лишь обеспечить правильную работу конструкции. Но основная проблема связана с ошибками при подробной проработке конструктивных узлов.

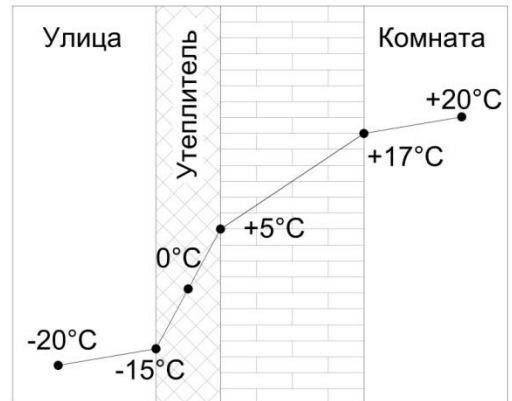


Рисунок 2. Градиент температур в стенах с вентилируемым зазором

5 Ошибки проектирования и монтажа трёхслойных стен

Теоретические основы материаловедения ушли достаточно далеко и позволяют достигать сроков службы в 150 лет, снижения затрат на теплоснабжение до 80%, но конструирование таких стен – серьёзная задача для проектировщика, в которой зачастую допускаются серьёзные ошибки, которые снижают долговечность и безопасность стен. К основным недостаткам проектных решений можно отнести:

1. Отсутствие конструктивных мероприятий по защите стен от атмосферного увлажнения.
 - 1.1. Неправильная ширина вентилируемого зазора вследствие отхождения поверхности утеплителя от наружной поверхности бетонной стены. В этом случае необходимо использовать пластиковый фиксатор, который прижимает плиту утеплителя к внутренней стене и позволяет воздуху в прослойке течь без дополнительных сопротивлений.
 - 1.2. Отсутствие специальных продухов в нижней и верхней части стены для проветривания воздушной прослойки (рисунок 3). Необходимо принимать площадь таких отверстий из расчета 40 см^2 на каждые 10 м^2 поверхности стены. Для этого необходимо использовать либо пустотный кирпич, положенный на ребро, либо оставлять некоторые вертикальные швы в нижнем ряду кладки без цементного раствора.

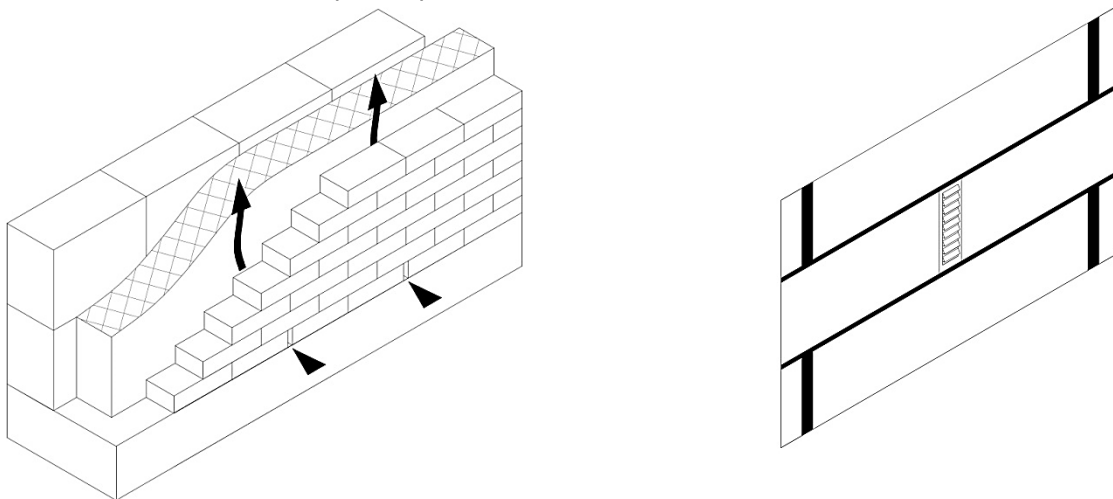


Рисунок 3. Устройство продухов в нижней части стены с вентилируемым зазором

- 1.3. Отсутствие отводных каналов в нижней части утеплителя. Рекомендуется устанавливать полиэтиленовые трубки диаметром до 10 мм с периодичностью 1 м, чтобы конденсат, скапливающийся в нижней части стены, не оказывал влияние на утеплитель, а просто выходил за пределы конструкции.
2. Отсутствие вертикальных температурно-деформационных швов в кирпичной кладке.
3. Недостаточное армирование облицовочного слоя с учетом температурно-влажностных воздействий.
4. Отсутствие горизонтального деформационного шва под перекрытием.
 - 4.1. В этой зоне часто присутствуют два опасных дефекта. Первый дефект – это недостаточная величина зазора для учета реального прогиба перекрытий. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» допускает для безбалочных перекрытий прогиб величиной $1/200$ от пролета. При пролете 6 м допустимый прогиб будет составлять 3 см. Снижение жёсткости, трещинообразование и ползучесть бетона не всегда учитывается при расчете. Может получиться, что реальный прогиб окажется больше расчётного, что вызовет дополнительное напряжение в кладке. Если допускать нормируемые прогибы то получается, что проектный зазор между перекрытием и верхом стены не должен быть менее $3 \text{ см} + 3 \text{ см} = 6 \text{ см}$.

4.2. Вторым распространенным дефектом обусловлен попаданием воды в этот шов из-за дождя. На фасадах зданий, особенно при большой этажности, образуются большие дождевые потоки, и вода затекает в щель между низом перекрытия и кладкой, распространяясь по кирпичу, утеплителю, бетону, снижая термическое сопротивление конструкции. Имеет смысл конструировать монолитное перекрытие таким образом, чтобы торец получался не вертикальным, а под наклоном.

5. Недостаточное количество крепежных соединений на углах здания и участках стен с проемами.

Помимо проектировщика значительный вклад в качество конструкции вносит подрядчик. И результаты его работы менее предсказуемы, так как большой объем работ по возведению трёхслойных стен является скрытым. Это обстоятельство снижает надёжность стены, причём сложно оценить насколько. Тем не менее, хорошего качества работ можно достичь при надлежащем контроле за строительным процессом. Для этого необходимо обращать внимание на наиболее часто встречающиеся образцы строительного брака:

1. Дефекты кладки, обусловленные низким уровнем квалификации каменщиков и сложностью контроля процессов.

2. Отсутствие связей или их недостаточная прочность. Вопросы прочности и коррозионной стойкости должны оговариваться в проекте, а вот наличие всех запроектированных связей остаётся на совести подрядчика и авторского надзора.

3. Недостаточная анкеровка связей. При недостаточном заведении арматуры в толщу несущего слоя пониженная площадь сцепления может вызвать обрушение кирпичей внешнего слоя.

4. Некачественная укладка утеплителя или его отсутствие. Зазоры в утеплителе вызывают повышенную диффузию водяного пара и ускоряют разрушение наружных кромок кирпичей облицовки.

5. Заполнение горизонтального шва под перекрытием раствором, который при деформации подвержен растрескиванию, а также недостаточная величина шва.

6 Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Для расчета безремонтного срока эксплуатации трехслойной конструкции необходим эксперимент, так как теоретические зависимости не могут учесть всех влияющих факторов.

2. Безремонтный срок эксплуатации гарантированно повышается с выполнением требований, приведенных в данной статье.

3. Качественное проектирование перейдет в качественный монтаж только при тщательном контроле, так как монтаж трехслойных стен, состоящий на 70% из скрытых работ, требует к себе особого внимания со стороны проверяющего.

Литература

- [1]. Халимов Р.К. Исследование совместной работы строительных материалов в составе современных многослойных теплоэффективных наружных стен зданий. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.: Уфа, 2007.
- [2]. Александровский С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций. М.: НИИСФ РААСН.
- [3]. Местников А.Е. Теплоизоляционные материалы для слоистых ограждающих конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации. Дисс. на соиск. учен. степ. д.т.н.: Москва, 1999.
- [4]. Ананьев А.А., Гохберг Ю.Ц. Пути повышения срока безремонтной службы наружных стен жилых зданий, облицованных кирпичом // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 1. С. 14-19.
- [5]. Умнякова Н.П. Долговечность трехслойных стен с облицовкой из кирпича с высоким уровнем тепловой защиты // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 94-100.
- [6]. Егорова Т.С., Черкас В.Е. Повышение энергоэффективности зданий благодаря устранению критических мостиков холода и непрерывной изоляции выступающих строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 421-428.
- [7]. Овсянников С.Н., Вязова Т.О. Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 24-27.
- [8]. Голубев С.С., Личман В.А. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче трехслойной стеновой панели // Жилищное строительство. 2012. № 7. С. 13-15.
- [9]. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю. Проблемы трехслойных ограждающих конструкций // Жилищное строительство. 2012. № 7. С. 9-12.
- [10]. Энергосберегающие конструктивные элементы наружных ограждений / Кобелев Н.С., Крыгина А.М., Ершова Е.И., Кобелев В.Н. // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-2. С. 170а-174.
- [11]. Киба И. Второе рождение композитной арматуры // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 8 (175). С. 28-29.
- [12]. Голунов С.А. Системы скрепленной теплоизоляции и эффективная технология энергосбережения // Строительные материалы. 2005. №9. С.11-13.
- [13]. Курбатов В.И. Повышение эффективности энергосбережения совершенствованием теплозащиты наружных стен зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. №3. С. 46-47.
- [14]. Влияние различных факторов на долговечность конструкций, утепленных пенополистиролом / Ананьев А.И., Лобов О.И., Можаяев В.П., Вязовиченко П.А. // Жилищное строительство. 2003. №3. С. 5-10.
- [15]. M.C. Navroski, D.B. Lippert, Lucas C. Evaluation of thermal insulation for three different materials used in construction and completion of external walls // Revista Ciência da Madeira. Federal University of Pelotas. 2010. p. 41-51.
- [16]. Табунщиков Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК ПРЕСС, 2002. 194 с.
- [17]. Хуторной А.Н. Теплоперенос в плоской трехслойной системе с теплопроводным несквозным включением // Инженерно-физический журнал. 2002. №5. С. 146-148.
- [18]. Табунщиков Ю.А. От энергоэффективных к жизнеудерживающим зданиям // АВОК. 2003. №3. С. 8-11.
- [19]. Sedlbauer K. Luftkonvektions einflusse auf den Warmedurchgang von belüfteten Fassaden mit Mineralwolledämmung // WKSB. 1999. № 44. p.43.
- [20]. Medina M.A. Validation and simulations of a quasi-steady state heat balance model of residential walls // Mathematical and Computer Modelling. 1999. № 7. p. 93-102.
- [21]. Carbonari A. Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls // Energy and Buildings. 2006. № 5. p. 472-483.
- [22]. Ben Larbi A. Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings // Energy and Buildings. 2005. № 9. p. 945-951.
- [23]. Сопротивление теплопередаче стен с навесными теплоизоляционными фасадами / Подласова И.А., Чернета В.Ю., Копаница Н.О., Солодников Е.В. // Журнал «АВОК». 2005. №3.
- [24]. Современное фасадостроение: работа над ошибками // Технологии строительства. 2004. №4. С.18-23.

- [25]. Усатова Т.А., Ларин О.А. О некоторых проблемах вентилируемых фасадов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. №7. С. 52-53.
- [26]. Пономарёв О.И., Маслов А.В., Мартынов О.М. О техническом состоянии наружных стеновых панелей // Жилищное строительство. 2004. №1. С. 10-12.
- [27]. Силаенков Е.С., Сальникова М.Е. Методика определения долговечности системы утепления наружных стен с эффективным утеплителем // Строительные материалы. 2001. №1. С. 15-17.
- [28]. Зубарев В.В. Системы наружного утепления зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2003. №4. С. 24-25.
- [29]. Хуторной А.Н. Нестационарный трехмерный теплоперенос в тепло-эффективных наружных стенах зданий с фасадными системами утепления. М.: ВИНТИ РАН, 2006. 27 с.
- [30]. Гагарин В.Г. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях // АВОК. 2005. №8. С. 60-69.
- [31]. El Diasty R. Transient three-dimensional thermal analysis of external wall panels // Building and Environment. 1988. №4. p. 291-301.
- [32]. Kosny J. Multi-dimensional heat transfer through complex building envelope assemblies in hourly energy simulation programs // Energy and Buildings. 2002. № 5. p. 445-454.
- [33]. Protasevich A.M., Krutilin A.B. Ventilated facade systems classification. Influence of "Thermal bridges" on their heat-resistant characteristics // Magazine of Civil Engineering. 2011. p. 57-62.
- [34]. Chong Liu, Zhigang Li. On the validity of the Navier-Stokes equations for nanoscale liquid flows: The role of channel size. AIP Advances. M.: American Institute of Physics, 2011.
- [35]. Jones G. F. Steady-state heat transfer in an insulated, reinforced concrete wall: theory, numerical simulations, and experiments // Energy and Buildings. 1999. № 3. p. 293-305.
- [36]. A simplified approach to thermal performance calculation for building integrated mechanically ventilated PV facades / D. Infield, U. Eicker, V. Fux, L. Mei, J. Schumacher // Building and Environment. 2006. №7. p. 893-901.
- [37]. Kunzel H.M. Simultaneous heat and moisture transport in building components. M.: Fraunhofer Institute of Building Physics, 1995.
- [38]. Савин В.К. Энергоперенос. Энергоэффективность. Энергосбережение. М: Лазурь. 2005. 425 с.
- [39]. Низовцев М.И., Стерлигов А.Н., Терехов В.И. Распространение теплового фронта при капиллярной пропитке пористых материалов // Ползуновский вестник. 2010. № 1. С. 39-43.
- [40]. Есенгабулов С.К. Энергоэффективные наружные стены с организованным воздухообменом. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.
- [41]. Табунщиков Ю.А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий // АВОК. 1998. №1. С. 5-10.
- [42]. Гагарин В.Г. Вентилируемые фасады. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов // Журнал «АВОК». 2005. №2.
- [43]. Babkov V.V., Samofeev N.S., Chuykin A.Ye. A silicate brick in external walls constructions of apartment houses: condition analysis, durability forecast and methods of its increasing // Magazine of Civil Engineering. 2011. p. 35-40.
- [44]. Omer Kaynakli. Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls // Energies. 2011. p. 913-927.
- [45]. Савин В.К. Долговечность и эффективность зданий // Стены и фасады. 2004. №3-4. С. 21-26.
- [46]. Сахариов Г.П. Теплоизоляционные экологически безопасные материалы для ограждающих конструкций зданий // Технологии бетонов. 2005. №1. С. 20-22.
- [47]. Фактическая и прогнозируемая долговечность пенополистирольных плит в наружных ограждающих конструкциях зданий / Лобов О.И., Ананьев А.И., Можаяев В.П., Вязовченко П.А. // Промышленное и гражданское строительство. 2003. №4. С. 54-56.
- [48]. Schaeffer J. Solar Living Source Book. The Complete Guide to Renewable Energy, Technologies and Sustainable Living. M.: Chelsea Green Publishing Company, 1994. p. 402.
- [49]. Хуторной А.Н. Теплоперенос в плоской трехслойной системе с поперечным несквозным включением // Инженерно-физический журнал. 2005. № 2. С. 29-35.
- [50]. Хуторной А.Н. Теплозащитные свойства кирпичных стен с гибкими связями // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2006. № 2. С. 4-8.

- [51]. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1978. 831 с.
- [52]. Котельников В.С., Четверик Н.П., Андриевский Р.А., Ананьев А.А. Безопасность строительства и строительный контроль. М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2012 г.
- [53]. Савин В.К. Долговечность и эффективность зданий // Стены и фасады. 2004. №3–4. С. 21–26.
- [54]. Повышение энергоэффективности зданий за счет повышения теплотехнической однородности наружных стен в зоне сопряжения с балконными плитами / Н.П. Умнякова, Т.С. Егорова, П.Б. Белогуров, К.С. Андрейцева // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 19–21.
- [55]. Ананьев А. А. Повышение долговечности лицевого керамического кирпича и камня в наружных стенах зданий. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н., 2007 г.
- [56]. V.V. Babkov, O.A. Rezvov, E.A. Gafurova. Deformability of plastering compositions in design solutions of modern thermal protective exterior walls // Magazine of Civil Engineering, 2011. p. 59-64.
- [57]. Ананьев А. А., Гохберг Ю. Ц. Пути повышения срока безремонтной службы наружных стен жилых зданий, облицованных кирпичом // Промышленное и гражданское строительство. №1. 2011.
- [58]. Bochen J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 7. p. 2559–2566.
- [59]. Langmans J., Klein R., Roels S. Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls // Building and Environment. 2012. Vol. 56. p. 192-202.
- [60]. I. Diagne, S. Tamba, F. Niang. Characterization of the Minimum Effective Layer of Thermal Insulation Material Tow-plaster from the Method of Thermal Impedance // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2011. p. 338-344.
- [61]. A.S. Shcherbak. Research of properties of modern heat-insulation materials // Science and Transport Progress. 2013. p. 136-143.
- [62]. Умнякова Н.П. Возведение энергоэффективных зданий в целях уменьшения негативного воздействия на окружающую среду // Вестник МГСУ. 2011. № 3. С. 459-464.
- [63]. Стерлягов А.Н. Совместный тепло- и влагоперенос в ограждающих конструкциях зданий из газобетона. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н. Новосибирск, 2007. 164 с.
- [64]. Зайдел А.Н. Погрешности измерения физических величин .М: Наука, 1985. 307 с.
- [65]. Пармон В.Н. Современные подходы к исследованию и описанию процессов сушки пористых тел. М.:Изд-во СО РАН. Новосибирск, 2001. 300 с.
- [66]. Nizovtsev M.I., Sterlyagov A.N., Terekhov V.I. Concrete materials: properties, performance and applications. Effect of material humidity on heat and moisture-transfer processes in gas-concrete. M.: Nova science publishers. 2009. p. 397-429.
- [67]. Smolka M. , Scott J., Madec B. Semi-natural test methods to evaluate fire safety of wall claddings // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2013. p. 2-12.
- [68]. Bogdanović V., Milanović D. Design of the vapor diffusion characteristics of the exterior facing of the facade thermal insulation systems // Facta Universitatis Series : Architecture and Civil Engineering. 2003. p. 349-356.
- [69]. Король Е.А. Трехслойные ограждающие железобетонные конструкции из легких бетонов и особенности их расчета. М.: Издательство АСВ, 2001. 256 с.
- [70]. Шилов Н.Н. Об экономии энергоресурсов и о материалах для утепления зданий // Жилищное строительство. 2004. № 2. С. 16-18.
- [71]. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 2006. 256 с.
- [72]. Умнякова Н.П. Влияние температурных колебаний наружного воздуха на образование конденсата в воздушной прослойке вентилируемых фасадов // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2004. № 7. С. 65-67.
- [73]. Низовцев М.И., Стерлигов А.Н., Терехов В.И. Тепловой эффект при капиллярном увлажнении пористых материалов М.: Изд-во МЭИ (ТУ). Т. 2. С. 195-198.
- [74]. Матюхов Д.В., Низовцев М.И., Терехов В.И. Определение теплозащитных характеристик теплоинерционных ограждающих конструкций зданий / Известия ВУЗОВ. Строительство. № 7. 2002. С. 72-75.
- [75]. Computational Fluid Dynamics Coupled with Thermal Impact Model for Building Design / Sue Ellen Haupt, Robert F. Kunz , Leonard Joel Peltier, James J. Dreyer // Journal of Computers. 2010. p. 1552-1559.

- [76].Tillmann K. Integral Facade Construction. Towards a new product architecture for curtain walls. M.: Delft University of Technology, 2013. p. 1-298.
- [77].Низовцев М.И., Стерлигов А.Н., Терехов В.И. Экспериментальное исследование тепловых эффектов при увлажнении пористых сред // Тепловые процессы в технике. 2011. № 3. С. 127-133.
- [78].Kossecka E. Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building // Energy and Buildings. 2002. №4. p. 321-331.
- [79].Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании / Ватин Н. И., Немова Д. В., Рымкевич П. П., Горшков А. С. // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4–14.
- [80].Qiang Li, Fujian Ni, Zaixin Li. Experimental Tests and Finite Element Modeling of Shrinkage Behavior in Cement Stabilized Aggregate Base // Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development and Management. 2009. p. 2754–2760.
- [81].Самойлов В.С. Справочник строителя. М.: Аделант , 2004. С. 240-255.
- [82].Силаенков Е.С., Сальникова М.Е. Методика определения долговечности системы утепления наружных стен с эффективным утеплителем // Строительные материалы. 2001. №1. С. 15–17.
- [83].Hagentoft C. Introduction to building physics. M.: Sweden Studentlitteratur, 2001. 422 p.

Features of designing three-layer external walls

A.K. Turchanenko¹, S.I. Smirnov²

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

Analytical review

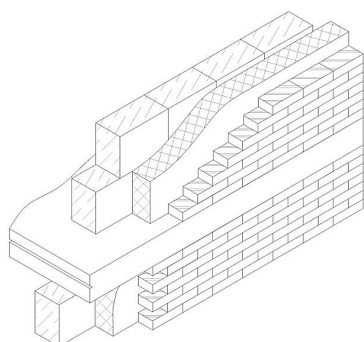
Article history

Received 21 May 2014
Accepted 24 October 2014

Keywords

three-layer external walls,
service life of an inhomogeneous
structure,
effective insulation material,
condensation,
destruction of rods,
maintainability

ABSTRACT



It is very important to make a research in external wall design due to increased requirements to energy efficiency.

The objective of the research is determining of main principles of designing three-layer external walls.

The article describes features of designing walls. Particular attention is paid to the design and installation errors of three-layer external walls. Recommendations are made to increase the maintenance-free life by performing specific design requirements. Article would be useful for engineers working with energy-efficient solutions in civil and industrial designing.

¹ Corresponding author:
+7 (921) 339 2786, turchanenko@mail.ru (Artemy Konstantinovich Turchanenko, Student)
² +7 (981) 731 7162, smirnovsta@mail.ru (Stanislav Igorevich Smirnov, Student)

References

- [1]. Khalimov R.K. *Issledovaniye sovmestnoy raboty stroitelnykh materialov v sostave sovremennykh mnogosloynnykh teploeffektivnykh naruzhnykh sten zdaniy. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n.: Ufa, 2007.* (rus)
- [2]. Aleksandrovskiy S.V. *Dolgovechnost naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy.* M.: NIISF RAASN. (rus)
- [3]. Mestnikov A.Ye. *Teploizolyatsionnyye materialy dlya sloistykh ograzhdayushchikh konstruktsiy, rabotayushchikh v surovyykh usloviyakh ekspluatatsii. Diss. na soisk. uchen. step. d.t.n.: Moskva, 1999.* (rus)
- [4]. Ananyev A.A., Gokhberg Yu.Ts. *Puti povysheniya sroka bezremontnoy sluzhby naruzhnykh sten zhilykh zdaniy, oblitsovannykh kirpichom // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2011. № 1. S. 14-19.* (rus)
- [5]. Umnyakova N.P. *Dolgovechnost trekhslonnykh sten s oblitsovkoj iz kirpicha s vysokim urovnem teplovoy zashchity // Vestnik MGSU. 2013. № 1. S. 94-100.* (rus)
- [6]. Yegorova T.S., Cherkas V.Ye. *Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy blagodarya ustraneniyu kriticheskikh mostikov kholoda i nepreryvnoy izolyatsii vystupayushchikh stroitelnykh konstruktsiy // Vestnik MGSU. 2011. № 3. S. 421-428.* (rus)
- [7]. Ovsyannikov S.N., Vyazova T.O. *Teplozashchitnyye kharakteristiki naruzhnykh stenovykh konstruktsiy s teploprovodnyimi vklyucheniymi // Stroitelnyye materialy. 2013. № 6. S. 24-27.* (rus)
- [8]. Golubev S.S., Lichman V.A. *Raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache trekhslonnoy stenovoy paneli // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2012. № 7. S. 13-15.* (rus)
- [9]. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.Yu. *Problemy trekhslonnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2012. № 7. S. 9-12.* (rus)
- [10]. *Energoberegayushchiye konstruktivnyye elementy naruzhnykh ograzhdeniy / Kobelev N.S., Krygina A.M., Yershova Ye.I., Kobelev V.N. // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 5-2. S. 170a-174.* (rus)
- [11]. Kiba I. *Vtoroye rozhdeniye kompozitnoy armatury // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2013. № 8 (175). S. 28-29.* (rus)
- [12]. Golunov S.A. *Sistemy skreplennoy teploizolyatsii i effektivnaya tekhnologiya energoberezheniya // Stroitelnyye materialy. 2005. №9. S.11-13.* (rus)
- [13]. Kurbatov B.I. *Povysheniye effektivnosti energoberezheniya sovershenstvovaniyem teplozashchity naruzhnykh sten zdaniy // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2004. №3. S. 46-47.* (rus)
- [14]. *Vliyaniye razlichnykh faktorov na dolgovechnost konstruktsiy, uteplennykh penopolistirolom / Ananyev A.I., Lobov O.I., Mozhayev V.P., Vyazovichenko P.A. // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2003. №3. S. 5-10.* (rus)
- [15]. M.C. Navroski, D.B. Lippert, Lucas C. *Evaluation of thermal insulation for three different materials used in construction and completion of external walls // Revista Ciência da Madeira. Federal University of Pelotas. 2010. p. 41-51.* (rus)
- [16]. Tabunshchikov Yu.A. *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teplovoy effektivnosti zdaniy.* M.: AVOK PRESS, 2002. 194 s. (rus)
- [17]. Khutornoy A.N. *Teploperenos v ploskoy trekhslonnoy sisteme s teploprovodnym neskvoznym vklyucheniym // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. 2002. №5. S. 146-148.* (rus)
- [18]. Tabunshchikov Yu.A. *Ot energoeffektivnykh k zhizneuderzhivayushchim zdaniyam // AVOK. 2003. №3. S. 8-11.* (rus)
- [19]. Sedlbauer K. *Luftkonvektions einflusse auf den Warmedurchgang von belifteten Fassaden mit Mineralwolledammung // WKSB. 1999. № 44. p.43.* (ger)
- [20]. Medina M.A. *Validation and simulations of a quasi-steady state heat balance model of residential walls // Mathematical and Computer Modelling. 1999. № 7. p. 93-102.*
- [21]. Carbonari A. *Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls // Energy and Buildings. 2006. № 5. p. 472-483.*
- [22]. Ben Larbi A. *Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings // Energy and Buildings. 2005. № 9. p. 945-951.*
- [23]. *Soprotivleniye teploperedache sten s navesnymi teploizolyatsionnymi fasadami / Podlasova I.A., Cherneta V.Yu., Kopanitsa N.O., Solodnikov Ye.V. // Zhurnal «AVOK». 2005. №3.* (rus)
- [24]. *Sovremennoye fasadostroyeniye: rabota nad oshibkami // Tekhnologii stroitelstva. 2004. №4. S.18-23.* (rus)

- [25]. Usatova T.A., Larin O.A. O nekotorykh problemakh ventiliruyemykh fasadov // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2005. №7. S. 52-53. (rus)
- [26]. Ponomarev O.I., Maslov A.V., Martynov O.M. O tekhnicheskom sostoyanii naruzhnykh stenovykh paneley // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2004. №1. S. 10-12. (rus)
- [27]. Silayenkov Ye.S., Salnikova M.Ye. Metodika opredeleniya dolgovechnosti sistemy utepleniya naruzhnykh sten s effektivnym uteplitelem // Stroitelnyye materialy. 2001. №1. S.15-17. (rus)
- [28]. Zubarev V.V. Sistemy naruzhnogo utepleniya zdaniy // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2003. №4. S. 24-25. (rus)
- [29]. Khutornoy A.N. Nestatsionarnyy trekhmernyy teploperenos v teplo-effektivnykh naruzhnykh stenakh zdaniy s fasadnymi sistemami utepleniya. M.: VINITI RAN, 2006. 27 s. (rus)
- [30]. Gagarin V.G. Prodolnaya filtratsiya vozdukha v sovremennykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh // AVOK. 2005. №8. S. 60-69. (rus)
- [31]. El Diasty R. Transient three-dimensional thermal analysis of external wall panels // Building and Environment. 1988. №4. p. 291-301. (rus)
- [32]. Kosny J. Multi-dimensional heat transfer through complex building envelope assemblies in hourly energy simulation programs // Energy and Buildings. 2002. № 5. p. 445-454.
- [33]. Protasevich A.M., Krutilin A.B. Ventilated facade systems classification. Influence of "Thermal bridges" on their heat-resistant characteristics // Magazine of Civil Engineering. 2011. p. 57-62.
- [34]. Chong Liu, Zhigang Li. On the validity of the Navier-Stokes equations for nanoscale liquid flows: The role of channel size. AIP Advances. M.: American Institute of Physics, 2011.
- [35]. Jones G. F. Steady-state heat transfer in an insulated, reinforced concrete wall: theory, numerical simulations, and experiments // Energy and Buildings. 1999. № 3. p. 293-305.
- [36]. A simplified approach to thermal performance calculation for building integrated mechanically ventilated PV facades / D. Infield, U. Eicker, V. Fux, L. Mei, J. Schumacher // Building and Environment. 2006. №7. p. 893-901.
- [37]. Kunzel H.M. Simultaneous heat and moisture transport in building components. M.: Fraunhofer Institute of Building Physics, 1995.
- [38]. Savin V.K. Energoperenos. Energoeffektivnost. Energoberezheniye. M: Lazur. 2005. 425 s. (rus)
- [39]. Nizovtsev M.I., Sterligov A.N., Terekhov V.I. Rasprostraneniye teplovogo fronta pri kapillyarnoy propitke poristykh materialov // Polzunovskiy vestnik. 2010. № 1. S. 39-43. (rus)
- [40]. Yesengabulov S.K. Energoeffektivnyye naruzhnyye steny s organizovannym vozdukhobmenom. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n. (rus)
- [41]. Tabunshchikov Yu.A. Nauchnyye osnovy proyektirovaniya energoeffektivnykh zdaniy // AVOK. 1998. №1. S. 5-10. (rus)
- [42]. Gagarin V.G. Ventiliruyemye fasady. O nekotorykh teplotekhnicheskikh oshibkakh, dopuskayemykh pri proyektirovanii ventiliruyemykh fasadov // Zhurnal «AVOK». 2005. №2. (rus)
- [43]. Babkov V.V., Samofeev N.S., Chuykin A.Ye. A silicate brick in external walls constructions of apartment houses: condition analysis, durability forecast and methods of its increasing // Magazine of Civil Engineering. 2011. p. 35-40.
- [44]. Omer Kaynakli. Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls // Energies. 2011. p. 913-927. (rus)
- [45]. Savin V.K. Dolgovechnost i effektivnost zdaniy // Steny i fasady. 2004. №3-4. S. 21-26.
- [46]. Sakharov G.P. Teploizolyatsionnyye ekologicheski bezopasnyye materialy dlya ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy // Tekhnologii betonov. 2005. №1. S. 20-22. (rus)
- [47]. Fakticheskaya i prognoziruyemaya dolgovechnost penopolistirolnykh plit v naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy / Lobov O.I., Ananyev A.I., Mozhayev V.P., Vyazovchenko P.A. // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. 2003. №4. S. 54-56. (rus)
- [48]. Schaeffer J. Solar Living Source Book. The Complete Guide to Renewable Energy, Technologies and Sustainable Living. M.: Chelsea Green Publishing Company, 1994. p. 402.
- [49]. Khutornoy A.N. Teploperenos v ploskoy trekhslonnoy sisteme s poperechnym neskoznyim vklyucheniym // Inzhenerno-fizicheskii zhurnal. 2005. № 2. S. 29-35. (rus)
- [50]. Khutornoy A.N. Teplozashchitnyye svoystva kirpichnykh sten s gibkimi svyazyami // Santechnika, otopleniye, konditsionirovaniye. 2006. № 2. S. 4-8. (rus)

- [51]. Korn G. Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov). M.: Nauka, 1978. 831 s. (rus)
- [52]. Kotelnikov V.S., Chetverik N.P., Andriyevskiy R.A., Ananyev A.A. Bezopasnost stroitelstva i stroitelnyy kontrol. M.: NTTs «Promyshlennaya bezopasnost», 2012 g. (rus)
- [53]. Savin V.K. Dolgovechnost i effektivnost zdaniy // Steny i fasady. 2004. №3–4. S. 21–26. (rus)
- [54]. Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy za schet povysheniya teplotekhnicheskoy odnorodnosti naruzhnykh sten v zone sopryazheniya s balkonnymi plitami / N.P. Umnyakova, T.S. Yegorova, P.B. Belogurov, K.S. Andreytseva // Stroitelnyye materialy. 2012. № 6. S. 19–21. (rus)
- [55]. Ananyev A. A. Povysheniye dolgovechnosti litseвого keramicheskogo kirpicha i kamnya v naruzhnykh stenakh zdaniy. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n., 2007 g. (rus)
- [56]. V.V. Babkov, O.A. Rezvov, E.A. Gafurova. Deformability of plastering compositions in design solutions of modern thermal protective exterior walls // Magazine of Civil Engineering, 2011. p. 59-64. (rus)
- [57]. Ananyev A. A., Gokhberg Yu. Ts. Puti povysheniya sroka bezremontnoy sluzhby naruzhnykh sten zhilykh zdaniy, oblitsovannykh kirpichom // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo. №1. 2011. (rus)
- [58]. Bochen J. Study on the microstructure of thin-layer facade plasters of thermal insulating system during artificial weathering // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Issue 7. p. 2559–2566.
- [59]. Langmans J., Klein R., Roels S. Hygrothermal risks of using exterior air barrier systems for highly insulated light weight walls // Building and Environment. 2012. Vol. 56. p. 192-202.
- [60]. I. Diagne, S. Tamba, F. Niang. Characterization of the Minimum Effective Layer of Thermal Insulation Material Tow-plaster from the Method of Thermal Impedance // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2011. p. 338-344.
- [61]. A.S. Shcherbak. Research of properties of modern heat-insulation materials // Science and Transport Progress. 2013. p. 136-143.
- [62]. Umnyakova N.P. Vozvedeniye energoeffektivnykh zdaniy v tselyakh umensheniya negativnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu // Vestnik MGSU. 2011. № 3. S. 459-464. (rus)
- [63]. Sterlyagov A.N. Sovmestnyy teplo- i vlagoperenos v ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy iz gazobetonov. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n. Novosibirsk, 2007. 164 s. (rus)
- [64]. Zaydel A.N. Pogreshnosti izmereniya fizicheskikh velichin .M: Nauka, 1985. 307 s. (rus)
- [65]. Parmon V.N. Sovremennyye podkhody k issledovaniyu i opisaniyu protsessov sushki poristyykh tel. M.:Izd-vo SO RAN. Novosibirsk, 2001. 300 s. (rus)
- [66]. Nizovtsev M.I., Sterlyagov A.N., Terekhov V.I. Concrete materials: properties, performance and applications. Effect of material humidity on heat and moisture-transfer processes in gas-concrete. M.: Nova science publishers. 2009. p. 397-429. (rus)
- [67]. Smolka M. , Scott J., Madec B. Semi-natural test methods to evaluate fire safety of wall claddings // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2013. p. 2-12.
- [68]. Bogdanović V., Milanović D. Design of the vapor diffusion characteristics of the exterior facing of the facade thermal insulation systems // Facta Universitatis Series : Architecture and Civil Engineering. 2003. p. 349-356.
- [69]. Korol Ye.A. Trekhsloynnye ograzhdayushchiye zhelezobetonnyye konstruktsii iz legkikh betonov i osobennosti ikh rascheta. M.: Izdatelstvo ASV, 2001. 256 s. (rus)
- [70]. Shilov N.N. Ob ekonomii energoresursov i o materialakh dlya utepleniya zdaniy // Zhilishchnoye stroitelstvo. 2004. № 2. S. 16-18. (rus)
- [71]. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy. M.: Stroyizdat, 2006. 256 s. (rus)
- [72]. Umnyakova N.P. Vliyaniye temperaturnykh kolebaniy naruzhnogo vozdukha na obrazovaniye kondensata v vozdushnoy prosloyke ventiliruyemykh fasadov // Stroitelnyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii XXI veka. 2004. № 7. S. 65-67. (rus)
- [73]. Nizovtsev M.I., Sterligov A.N., Terekhov V.I. Teplovoy effekt pri kapillyarnom uvlazhnenii poristyykh materialov M.: Izd-vo MEI (TU). T. 2. S. 195-198. (rus)
- [74]. Matyukhov D.V., Nizovtsev M.I., Terekhov V.I. Opredeleniye teplozashchitnykh kharakteristik teploinertsionnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy / Izvestiya VUZOV. Stroitelstvo. № 7. 2002. S. 72-75. (rus)
- [75]. Computational Fluid Dynamics Coupled with Thermal Impact Model for Building Design / Sue Ellen Haupt, Robert F. Kunz , Leonard Joel Peltier, James J. Dreyer // Journal of Computers. 2010. p. 1552-1559.
- [76]. Tillmann K. Integral Facade Construction. Towards a new product architecture for curtain walls. M.: Delft University of Technology, 2013. p. 1-298.

- [77]. Nizovtsev M.I., Sterligov A.N., Terekhov V.I. Eksperimentalnoye issledovaniye teplovykh effektiv pri uvlazhnenii poristykh sred // Teplovyye protsessy v tekhnike. 2011. № 3. S. 127-133. (rus)
- [78]. Kossecka Ye. Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building // Energy and Buildings. 2002. №4. p. 321-331.
- [79]. Vliyaniye urovnya teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy na velichinu poter teplovoy energii v zdanii / Vatin N. I., Nemova D. V., Rymkevich P. P., Gorshkov A. S. // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. №8(34). S. 4-14. (rus)
- [80]. Qiang Li, Fujian Ni, Zaixin Li. Experimental Tests and Finite Element Modeling of Shrinkage Behavior in Cement Stabilized Aggregate Base // Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development and Management. 2009. p. 2754-2760.
- [81]. Samoylov B.C. Spravochnik stroitelya. M.: Adelant, 2004. S. 240-255. (rus)
- [82]. Silayenkov Ye.S., Salnikova M.Ye. Metodika opredeleniya dolgovechnosti sistemy utepleniya naruzhnykh sten s effektivnym uteplitelem // Stroitelnyye materialy. 2001. №1. S. 15-17. (rus)
- [83]. Hagentoft C. Introduction to building physics. M.: Sweden Studentlitteratur, 2001. 422 p.