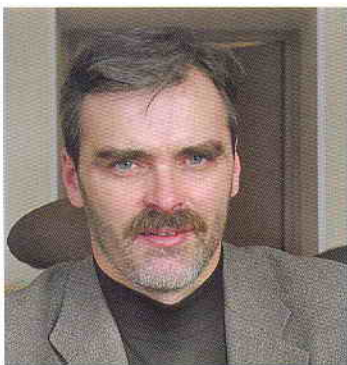


Критерии выбора утеплителей для навесных вентилируемых фасадов



И.А. Мехнецов

Один из актуальных вопросов при конструировании стен с наружным утеплением и облицовкой на отnose – выбор марки утеплителя. На него и попробую дать ответ в предлагаемой вниманию читателя статье.

Прежде всего, необходимо оговориться. В статье речь идет только о теплотехнических и пожарно-технических качествах навесного фасада. Качество выполнения работ, безусловно, определяющее многие показатели конструкции, в данной статье не обсуждается и принимается хорошим.

Факторы и воздействия влияющих на эффективность и долговечность

Эффективность и долговечность любой строительной конструкции, прежде всего, определяется корректностью метода расчета и свойствами входящих в неё материалов. В общем случае методика теплотехнического расчета и принципы выбора теплоизоляционного материала должны учитывать архитектурно-строительные особенности здания, климатические воздействия и внешние нагрузки.

К архитектурно-строительным особенностям относятся такие факторы, как форма и высота здания; остекленность – процент остекления и ширина простенков; форма утепляемой поверхности – плоская или криволинейная; качество утепляемой поверхности – отклонение от плоскостности, наличие выпуклостей или швов; степень огнестойкости здания, класс ответственности здания; влажностный режим помещения – сухой, нормальный, влажный, мокрый.

К климатическим воздействиям, учет которых помимо расчетных температур необходим при выборе теплоизоляции, относятся ветровые воздействия.

С внешними нагрузками на теплоизоля-

цию все просто – они сведены к минимуму. Внешних сил к утеплителю в условиях эксплуатации не приложено. Собственный вес отдельной плиты воспринимается механическим крепежом, например, стержнями из стеклопластика с нейлоновым дюбелем. Количество точек крепления на одну плиту определяется проектом. В условиях эксплуатации и монтажа при обеспечении плотного контакта (прижатия) утеплитель подвергается нагрузкам на сжатие, изгиб и кручение, обусловленных геометрией утепляемой поверхности.

Взвешенный подход к свойствам теплоизоляции

Все перечисленные факторы и воздействия однозначно позволяют определить критерии выбора теплоизоляционного материала для навесного фасада. Выбор же конкретной марки теплоизоляции проводится по этим критериям на основе сравнительного анализа физико-механических свойств, предполагаемых к использованию материалов. Количественные показатели критериев нормировать (ограничивать) не имеет смысла, т.к. известно – из материалов с самыми лучшими показателями свойств можно спроектировать плохую конструкцию. И, наоборот, из редко применяемых в строительстве материалов, например, глины или земли можно построить даже дворец – Приоратскому дворцу в г. Гатчина под С.Петербургом, построенному архитектором Н.А.Львовым из этих материалов, уже более 200 лет. Попутно стоит заметить, что физико-механические свойства утеплителей не стоит сводить к интегральному показателю «плотность», который широко рекомендуется и используется при проектировании. Хотя зависимость свойств волокнистых утеплителей от их плотности очевидна.

Современный уровень проектирования требует более взвешенного подхода ко всем без исключения свойствам теплоизоляции. В противном случае, можно получить нежелательные эффекты при эксплуатации конструкции, о которых будет сказано ниже.

Методика технологического отчета

Для иллюстрации высказанных тезисов рассмотрим конкретные примеры.

Наиболее точный и корректный на сегодняшний день теплотехнический расчет стен с облицовкой на отnose, разработанный в НИИ Строительной физики д.т.н., проф. Гагариным В.Г., к.т.н. Козловым В.В. и опубликованный в [1], состоит из следующих шагов:

- подбор толщины утеплителя для стены с облицовкой на отnose, достаточной для удовлетворения нормативным требованиям по сопротивлению теплопередаче;
- расчет влажностного режима конструкции и проверки влажности материалов на удовлетворение нормативным требованиям;
- уточнение характеристик материалов с учетом их средней влажности в расчетный период;
- расчет воздухообмена в воздушном зазоре;
- проверка достаточности количества удаляемой из воздушного зазора влаги в расчетный период;
- расчет требуемой величины сопротивления воздухопроницанию стены;
- проверка необходимости ветрозащиты.

Комментарии к теплотехническому расчету

Первый пункт теплотехнического расчета определяет и первый критерий для выбора теплоизоляции – коэффициент теплопроводности утеплителя в условиях

эксплуатации. Для выбора утеплителя по этому критерию можно пользоваться информацией производителей, представленной в рекламных материалах. Кроме того, следует иметь в виду результаты исследований теплопроводных свойств различных теплоизоляционных материалов, обращающихся на рынке РФ.

И.Я. Киселевым (НИИСФ) получены полуэмпирические формулы, выражающие зависимость теплопроводности волокнистых теплоизоляционных материалов в сухом состоянии от их плотности [2]. Расчеты по этим формулам представлены на рис. 1.

От себя по этому поводу хочется сказать следующее. Желание некоторых производителей теплоизоляционных материалов «выиграть» за счет приближения значений коэффициента теплопроводности в условиях эксплуатации к значениям теплопроводности в сухом состоянии вызывает удивление. Материалы одной природы у разных производителей (а иногда и одни и те же) по рекламным данным имеют разные приращения коэффициента теплопроводности при одинаковом увлажнении. Интересно, за счёт каких таких механизмов?

Расчет влажностного режима

Расчет влажностного режима утепленной стены с облицовкой на отnose представляет на сегодняшний день самую большую сложность и вызывает множество вопросов со стороны проектировщиков. Существует миф, что если фасад вентилируемый, то влажностный расчет производить не обязательно. При всех вариантах материалы стены будут оставаться сухими. Причиной появления этого мифа, видимо, следует считать, с одной стороны, вульгарное понимание сути конструкции вентилируемого фасада. С другой стороны, отсутствие для такой конструкции в СНиП 23-02-2003 и других рекомендательных документах корректной методики расчета с учетом ряда факторов, например, высоты здания и ширины вентилируемого зазора.

Влияние высоты здания на влажностное состояние материалов стены обусловлено явлениями инфильтрации и эксфильтрации – движения воздуха внутрь и из помещения наружу за счет разницы внутреннего и внешнего давлений, соответственно. При достаточной ширине зазора и отсутствии эксфильтрации на нижних этажах здания влажность материалов стены не будет превышать допустимых значений. Для волокнистых утеплителей эта величина составляет 3-5 %.

Для верхних этажей того же здания будет характерна эксфильтрация воздуха, возрастающая с увеличением высоты здания при прочих равных условиях согласно [3]. Влажностное состояние материалов на таких участках стен в холодный период года будет характеризоваться повышенной влажностью. Причем утеплитель может увлажняться значительно больше, чем допустимые расчетные значения. Максимальное количество влаги, подводящееся теплым воздухом в

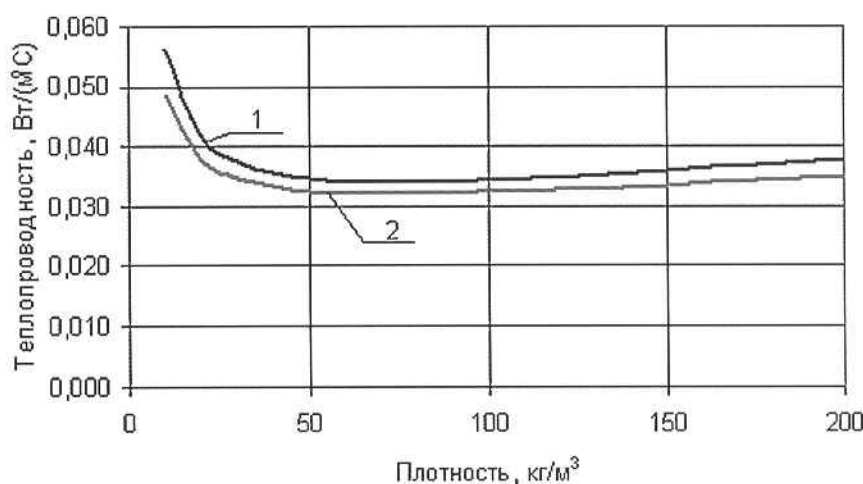


Рис. 1. Теплопроводность в сухом состоянии

1 - минераловатных изделий, изготовленных из базальта или габбро-диабазы

2 - стекловолоконных изделий, изготовленных из плавящего кварцевого песка

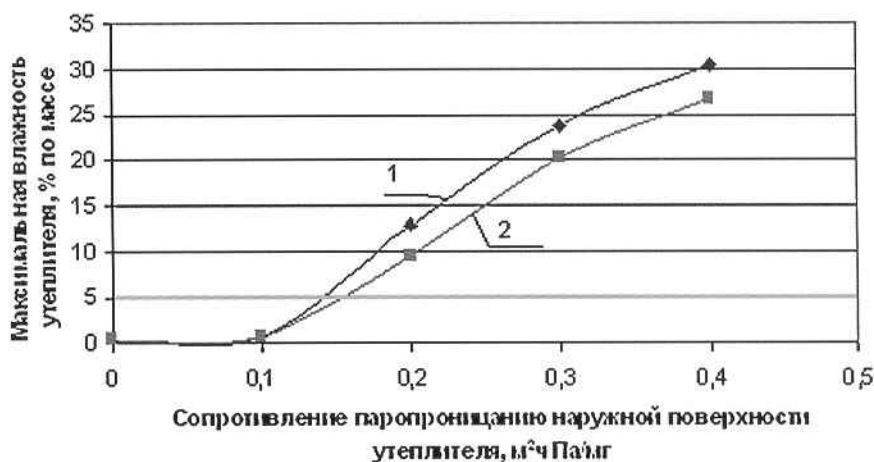


Рис. 2. Влажность утеплителя в зоне максимального увлажнения в зависимости от сопротивления паропропусканию у наружной поверхности

1 – с учетом мембраны, 2 – без учета мембраны

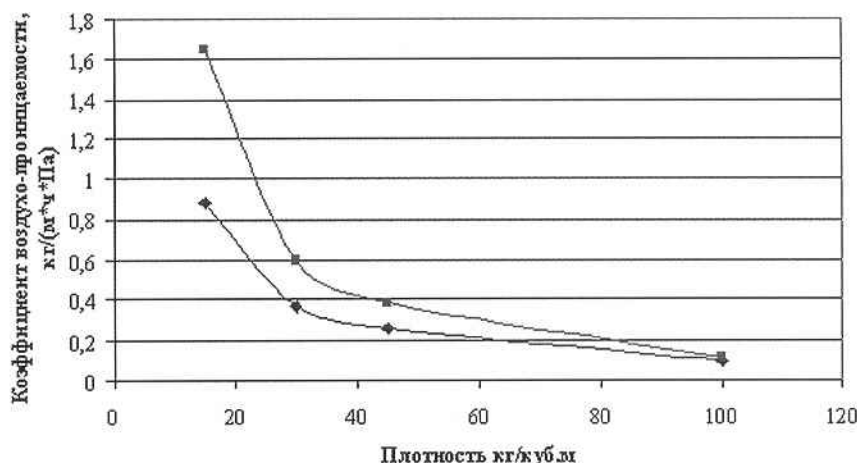


Рис. 3. Коэффициент воздухопроницаемости утеплителя в зависимости от плотности
1 – вдоль волокон, 2 – поперек волокон

более холодные слои стены, может превышать значения величины водопоглощения утеплителя. Избыточная влага будет вытекать из утеплителя, и этот эффект можно наблюдать на некоторых фасадах в виде сосулек, свисающих из под облицовки на верхних этажах, и отсыревших стен внутри помещения.

Ширина вентилируемого зазора и наличие ветрозащитной мембраны на внешней поверхности утеплителя похожим образом влияют на влажностный режим утеплителя. На рис. 2 представлена диаграмма влажностного состояния утеплителя в зависимости от наличия ветрозащитной мембраны и ширины вентилируемого зазора, определяющей его эквивалентное сопротивление паропрооницанию.

В общем виде, эквивалентное сопротивление паропрооницанию воздушного зазора обратно пропорционально его ширине. Чем уже зазор – тем выше его сопротивление, тем меньше влаги способен усвоить воздух, поднимающийся по зазору.

Как видно из графика на рис.2, утеплитель может увлажняться (без учета увлажнения за счет эксфильтрации) значительно больше, чем допустимые расчетные значения, если суммарное сопротивление паропрооницанию воздушного зазора и мембраны будет превышать $0,15 \text{ м}^2 \text{ Па} / \text{мг}$. Такое сопротивление будет создаваться при ширине воздушного зазора 25 мм и ветрозащите «Tivek». При уменьшении ширины зазора его эквивалентное сопротивление паропрооницанию значительно возрастает.

Водостойкость и паропрооницаемость

Рассмотренные случаи наталкивают на мысль, что необходим следующий критерий для выбора теплоизоляции – водостойкость. Однако следует признать такой критерий излишним, т.к. увлажнение утеплителя выше значений в 3-5 % недопустимо по соображениям снижения эффективности теплоизоляции. Более существенное значение имеет другой показатель – паропрооницаемость утеплителя. В случае установки двух слоев утеплителя, когда внешний слой имеет меньшую паропрооницаемость, чем внутренний, условия запредельного увлажнения наружного слоя могут наступить даже при нормальных значениях ширины зазора и сопротивления воздухопроницаемости несущего слоя стены. Поэтому следующий критерий, определяемый методикой теплотехнического расчета и архитектурно-строительными факторами, является паропрооницаемость утеплителя.

После выполнения расчетов по определению сопротивления теплопередаче и влажностному состоянию материалов стены в соответствии с п. 3 методики производится уточнение показателей свойств выбранных материалов по указанным критериям. Таким образом, на этом этапе определяются не только толщины слоев,

но и необходимые значения показателей свойств теплоизоляции.

Проверочный этап

Далее, предполагаются этапы расчета, призванные определить достаточность принятой ширины воздушного зазора для эффективного удаления влаги в холодный период года. Иными словами – способность воздуха, поднимающегося по зазору в определенном количестве и при принятых для расчетного периода кондициях, поглощать рассчитанное количество влаги, поступающей из помещения за счет паропрооницаемости и воздухопроницаемости материалов стены. По существу это проверочные этапы, выполнение которых не привносит новых критериальных параметров.

Шестой пункт методики предусматривает определение параметров воздухопроницаемости стены при инфильтрации и продольной фильтрации. С точки зрения инфильтрации теплоизоляционный слой из волокнистых утеплителей не играет существенной роли, т.к. его воздухопроницаемость при толщине до 200 мм много больше воздухопроницаемости основания вентилируемого фасада. Этот факт нашел свое отражение ещё в СНиП II-3-79 и, принимая справедливость данного положения, подробно на этом процессе останавливаться не имеет смысла. Другое дело продольная фильтрация.

Продольная фильтрация

Это явление вызвано перепадом давления, возникающим при движении воздуха вдоль или под углом к плоскости фасада. Расчеты продольной фильтрации воздуха в ограждающих конструкциях и ее влияния на теплозащитные свойства конструкций ранее не проводилось, хотя К.Ф. Фокин отмечал, что методы таких расчетов не разработаны, но учитывать продольную фильтрацию следует строительными мероприятиями [3], т.е. минимизировать за счет конструктивных решений.

И в этом случае налицо связь архитектурно-строительных особенностей здания, конструкции фасада, а так же климатических параметров со свойствами теплоизоляционных материалов. Подробно эти явления рассмотрены в [4]. В этой же статье хочется отметить главное. Явление существует. Величины теплопотерь за счет продольной фильтрации могут быть незначительными, в пределах 1-2 % при низкой воздухопроницаемости облицовки, например, из металлического сайдинга или большеформатных плит. Этих же значений не независимо от воздухопроницаемости облицовки теплопотери могут достигать при установке в узлах примыкания слоя теплоизоляции к оконному проему и на углах здания так называемой ветрозащиты.

В случае высокой воздухопроницаемости облицовки, например, из мелкоформатных плит с открытыми швами, теплопотери могут достигать значений в 15-20 %

на угловых участках стен и простенках. Еще больших значений теплопотери могут достигать при неплотном сопряжении утеплителя с утепляемой поверхностью, т.е. при наличии замкнутых или сквозных щелей. Особенно важен учет этих явлений для ветровых районов с V по VII и для зданий, имеющих отапливаемые помещения на высоте более 75 м от уровня земли в любом ветровом районе. Требуемые характеристики ветрозащиты и утеплителя должны определяться отдельным теплотехническим расчетом.

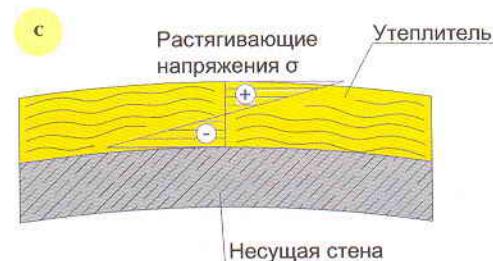
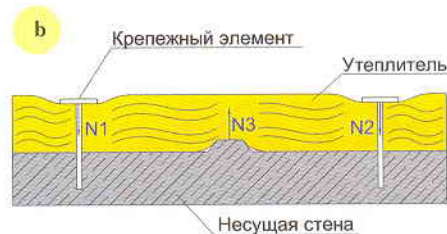
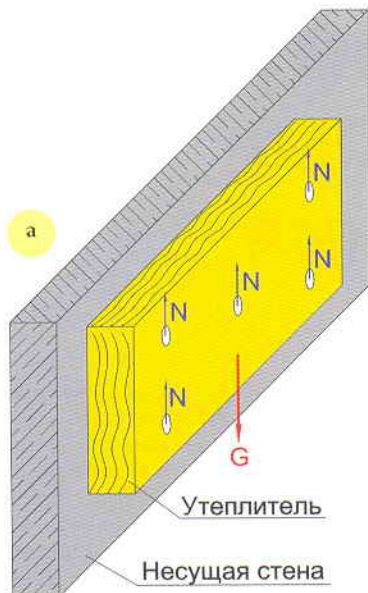
Для учета теплопотерь за счет продольной фильтрации необходимы следующие три критерия – воздухопроницаемость, сжимаемость и упругость (восстанавливаемость или возвратимость) утеплителя.

На рис. 3 представлена публикуемая впервые зависимость коэффициента воздухопроницаемости утеплителей URSA от плотности. Очевидно, что теплопотери за счет продольной фильтрации зависят как от плотности, так и от структуры утеплителя. К сожалению, данных по воздухопроницаемости утеплителей других производителей в распоряжении автора не имеется. Можно лишь предположить, что утеплители с большей плотностью имеют меньшие коэффициенты воздухопроницаемости.

В то же время, в соответствии с седьмым пунктом методики, суммарная воздухопроницаемость слоя утеплителя с высоким коэффициентом воздухопроницаемости и ветрозащитной мембраны может быть значительно меньше, чем у утеплителя с низким коэффициентом воздухопроницаемости. Такой способ регулирования воздухопроницаемости сродни установке слоя с дополнительным сопротивлением паропрооницанию – пароизоляции – при расчете влажностного режима конструкций.

Недостатки конструкции двухслойного утепления

С этих позиций рекомендуемая конструкция двухслойного утепления, когда наружный слой выполнен из плотных волокнистых утеплителей и, следовательно, имеет меньший коэффициент воздухопроницаемости, а внутренний слой выполнен из легких утеплителей, по мнению автора, порочна по двум причинам. Во-первых, наличие внешнего плотного слоя не снижает теплопотери за счет продольной фильтрации. Во-вторых, многочисленные пожарные испытания на предмет определения класса пожарной опасности конструкций навесных фасадов показывают следующее. Использование менее воздухопроницаемых слоев утеплителя во внешнем слое теплоизоляции при двухслойном утеплении приводит к затрудненному газовойделению из внутренних слоев с высокой воздухопроницаемостью при нагреве последних выше температуры начала разложения фенолформальдегидного связующего, содержащегося во всех современных волокнистых утеплителях.



При большой толщине внутреннего слоя теплоизоляции, это приводит к повышенному задымлению при пожаре и опасности возникновения процессов тления.

Справедливо также и то, что наличие ветрозащитной мембраны, безусловно, способствует распространению огня не только вверх по фасаду, но и в стороны и вниз.

Упругость утеплителя

Сжимаемость и упругость утеплителя определяет качество его сопряжения с поверхностью стены. В этом смысле, с учетом расчетов, выполненных в [4], критерии сжимаемости и упругости представляются наиболее значимыми. Особенно для несущих частей стены, выполненных из кирпича и блоков, а также мест сопряжений с различными конструктивными элементами, например, кронштейнами. При применении жестких утеплителей с низкой упругостью (низкой возвратимостью) наличие швов, уступов, выпуклостей может стать критическим. Отношение теплотеря за счет продольной фильтрации к суммарным теплотерям вследствие других процессов может превзойти разумные пределы.

Немаловажное значение, с точки зрения сохранения теплозащитных свойств во времени, имеет способность утеплителя сохранять стабильные геометрические размеры и форму. Эти свойства теплоизоляционных материалов являются очередным критерием при выборе материала. К сожалению, методов расчета снижения сопротивления теплопередаче за счет раскрытия стыков отдельных фрагментов не разработано. Однако, в первом приближении, каждый раскрытый стык можно считать неутепленным участком стены. При расположении утеплителя в два слоя с разбежкой стыков снижение теплозащитных свойств менее весомо. В любом случае, критерий формостабильности а priori следует признать крайне важным.

Криволинейные в плане поверхности наружных стен или их участков, переходы поверхностей по образующей, пилястры и эркеры сложной формы современных зданий определяют механические критерии – прочность на растяжение, прочность на сжатие, гибкость утеплителя.

Прочностные критерии

Прочностные критерии определяются исходя из следующих положений. В точке крепления утеплителя возникают растягивающие усилия от собственного веса теплоизоляционного слоя, действующие в плоскости плиты, и сжимающие усилия от крепежа, направленные перпендикулярно плоскости плиты (рис.4). Величина растягивающего усилия зависит от плотности утеплителя, толщины слоя и количества точек закрепления на 1 м². Она не должна превышать прочности материала на растяжение. Для утеплителей из стекловолокна, имеющих слоистую структуру, эта прочность на растяжение поперек волокон. Для утеплителей из каменной ваты, не имеющих слоистой структуры, прочности на растяжение вдоль и поперек волокон примерно равны.

Сжимающие усилия приводят к деформации утеплителя. Утеплители с высокой сжимаемостью легко деформируются, и говорить о величине их прочности на сжатие не приходится. В жестких утеплителях величина сжимающих усилий не должна превышать их прочности на сдвиг. Прочность на сдвиг в данном случае можно уравнивать с прочностью на сжатие, традиционно определяемой для жестких утеплителей.

Усилия от изгибающих и крутящих моментов, возникающие при эксплуатации, определяются исключительно при проектировании и зависят от геометрических характеристик утепляемой поверхности и способа закрепления теплоизоляции. Они также не должны превышать прочность

утеплителя на растяжение. Для утеплителей из стекловолокна это прочность на растяжение вдоль волокон. Кроме того, в утеплителях, имеющих высокую гибкость, не возникает значительных растягивающих напряжений и по этой причине, они выпускаются в рулонах.

Выводы

Итак, подведем итоги. Разработанная под руководством проф. Гагарина В.Г. в НИИСФ методика теплотехнического расчета наиболее полно отражает все особенности работы конструкций стен с наружным утеплением и облицовкой на отnose - нестационарный характер теплового режима наружных стен, архитектурно-строительные факторы и климатические воздействия. Методика позволяет определить критерии выбора теплоизоляционных материалов и конструкций теплоизоляционных слоев. Теплоизоляционные материалы целесообразно подбирать по следующим критериям (показателям свойств):

1. теплопроводность в условиях эксплуатации;
2. паропроницаемость;
3. воздухопроницаемость;
4. сжимаемость;
5. упругость (возвратимость);
6. прочность на растяжение и сжатие;
7. гибкость;
8. стабильность формы и размеров в условиях эксплуатации.

Нормировать приведенные критерии с точки зрения теплотехники не имеет смысла, т.к. при известных методах оценки влияния любого критерия, в конечном счете, все определяет экономическая целесообразность принятой конструкции теплоизоляционного слоя.

С точки зрения пожарно-технических характеристик все определяет эксперимент. Поэтому и здесь нормирование свойств теплоизоляционных материалов представляется излишним.

И в том и в другом случае, исходя из целей проектирования, имеет смысл рекомендовать наиболее рациональные конструкции.

Что касается методов теплотехнического расчета, безусловно, на основе методики НИИ Строительной физики стоит выпустить национальный стандарт.

Используемая литература

1. «Проектировании фасадов систем в г.Томске».
2. И.Я. Киселев «Теплопроводность эффективных теплоизоляционных строительных материалов и изделий», журнал *Academia*, № 4, 2004, стр. 36-41.
3. К.Ф. Фокин «Строительная теплотехника ограждающих частей зданий», Изд.4-е, М. Стройиздат, 1973.
4. В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, И.А. Мехнецов «Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях», журнал *АВОК* №8/2005.