

Отражающая изоляция при строительстве и реконструкции зданий

Н.Д. Шилов, генеральный директор ЗАО «Завод ЛИТ», В.А. Могутов, канд. техн. наук, Т.В. Рыкова, научн. сотрудник ИЛ НИИСФ

Ни для кого не секрет, что в настоящее время из-за возросших тарифов на отопление проблеме дополнительной теплоизоляции в жилых зданиях уделяется всё большее внимание. Эта проблема встаёт как при строительстве новых, так и уже построенных зданий. Известно, что общие теплотери через стены и окна зданий разной этажности составляют 50-60%. На содержание 1 м² общей площади жилого дома в России тратится, в среднем, 84 кг усл. топлива в год, для сравнения, в Швеции - только 27 кг. Так как основные теплотери происходят через наружные ограждающие конструкции, то в данной статье основное внимание мы уделим именно этому вопросу.

В настоящее время применяется 3 системы утепления конструкций наружных стен:

1. Система внутреннего утепления стен, когда теплоизоляционный материал (утеплитель) расположен с внутренней стороны ограждающей конструкции.
2. Система с "колодцевой" кладкой или в трёхслойных ж/б панелях, когда утеплитель расположен внутри ограждающей конструкции.
3. Наружное утепление: стены со штукатурным покрытием ("мокрый" фасад) и навесной вентилируемый фасад, когда утеплитель расположен снаружи несущей части ограждающей конструкции.

Давно ведутся споры, какая система наиболее выгодна при строительстве. На этот вопрос нет однозначного ответа, все вышеперечисленные системы имеют свои плюсы и минусы. Попытаемся рассмотреть их, для чего остановимся подробнее на двух более интересных из них - наружном и внутреннем утеплении.

При применении системы наружного утепления можно отметить следующие преимущества:

- зона конденсации парообразной влаги располагается за пределами несущей части стены (в зоне слоя теплоизоляции);
- несущая часть стены становится теплоаккумулятором - помогает долго сохранять тепло внутри помещения из-за высокого значения объёмной теплоёмкости конструкционных материалов;
- наружная теплоизоляция ограждающих конструкций придаёт более однородные теплотехнические параметры всей конструкции, в том числе, за счёт более высокого значения сопротивления воздухопроницанию.

Недостатками системы наружного утепления можно считать:

- конденсация водяного пара происходит в слое теплоизоляции, что приводит к

повышению его влажности и, как следствие, к увеличению коэффициента теплопроводности; при этом снижается эксплуатационная долговечность теплоизоляционного материала;

- наружный теплоизоляционный слой приходится защищать - как от увлажнения атмосферными осадками, так и от механических воздействий;
- для вентилируемых фасадов коэффициент теплотехнической однородности может достигать значений $0,70 \div 0,75$ за счёт элементов крепления конструкций фасада к несущей части стен (кронштейнов, анкерных дюбелей и др.)

При применении системы внутреннего утепления можно отметить следующие преимущества:

- сохранение наружной отделки здания;
- простота установки конструкции внутреннего утепления;
- невысокая стоимость работ и возможность утепления отдельных участков конструкций (простенков, глухих участков, зон перемычек, стыков панельных стен, перекрытий и др.).

При применении системы внутреннего утепления следует учесть ряд ограничений:

- незначительная, но потеря полезной площади помещений;
- необходимость создания парозащитного слоя на внутренней поверхности слоя теплоизоляции;
- необходима организация воздухообмена в помещении ввиду снижения воздухопроницаемости конструкции в целом из-за наличия дополнительного слоя пароизоляции;
- термическое сопротивление дополнительного слоя теплоизоляции не должно превышать значения термического сопротивления основной конструкции.

Это далеко не полный перечень различий между двумя видами дополнительной теплоизоляции, поэтому при принятии решения о применении той или иной конструкции утепления стен зданий следует внимательно рассмотреть их положительные стороны и недостатки для каждого вида дополнительной теплоизоляции.

В этой статье мы рассмотрим только вариант внутреннего утепления наружных конструкций на примере отражающей теплоизоляции Пенофол® типа А, выпускаемой заводом «ЛИТ», г. Переславль-Залесский.

Материал Пенофол® - рулонный теплоизоляционный материал, изготавливается на основе вспененного полиэтилена, с одной или с двух сторон покрытого алюминиевой фольгой.

Материал Пенофол® также подразделяется на 3 основных типа:

- тип А - пенополиэтилен фольгированный с одной стороны;
- тип В - пенополиэтилен фольгированный с двух сторон;
- тип С - пенополиэтилен фольгированный с одной стороны, а с другой нанесён клеевой слой закрытый антиадгезионным материалом.

Максимальная выпускаемая ширина рулона составляет 1,5 м. Толщина изделий для типов материала А, В, С составляет от 3 до 20 мм.

ЗАО «ЛИТ» совместно с НИИСФ разработана конструкция дополнительной теплоизоляции наружных стен с применением материалов типа Пенофол® А и Армофол (армированная алюминиевая фольга) со слоем плитного пенополистирольного утеплителя.

Теплотехническая эффективность системы внутреннего утепления ограждающих конструкций достигается за счет применения высокоэффективных теплоизоляционных материалов с фольгированной поверхностью из полированной алюминиевой фольги и использования воздушной прослойки между теплоизоляционным материалом и отделочным слоем из листового материала. При такой схеме дополнительной теплоизоляции происходит разрыв кондуктивного теплового потока через конструкцию, а алюминиевая фольга выполняет функцию «теплового зеркала» снижающего лучистую составляющую теплопереноса через воздушную прослойку. Значение относительной степени черноты поверхности алюминиевой фольги ϵ составляет 0,04 - 0,10, что существенно меньше, чем степень черноты основных строительных материалов, для которых величина $\epsilon \sim 0,75 - 0,90$. Модель теплопереноса через воздушную прослойку включает три составляющие, при этом суммарный тепловой поток q , Вт/м², определяется соотношением $q = q_1 + q_2 + q_3$, где q_1 - количество теплоты передаваемой теплопроводностью, q_2 - количество теплоты передаваемой конвекцией, q_3 - количество теплоты передаваемой излучением.

Передача теплоты теплопроводностью подчиняется закону теплопередачи в твердом теле, поэтому $q_1 = (\tau_1 - \tau_2)(\lambda_1 / \delta)$, в этой формуле τ_1 и τ_2 - температура поверхности воздушной прослойки, °С; λ_1 - коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха, Вт/м°С; δ - ширина воздушной прослойки, м.

Конвективную составляющую теплопередачи в воздушной прослойке q_2 также можно представить в аналогичной форме $q_2 = (\tau_1 - \tau_2)(\lambda_2 / \delta)$, где λ_2 - условный коэффициент теплопроводности, называемый коэффициентом теплопередачи конвекцией, Вт/м°С. Значения коэффициентов λ_1 и λ_2 табулированы в зависимости от перепада температуры ($\tau_1 - \tau_2$) и ширины воздушной прослойки δ : при разности температуры ($\tau_1 - \tau_2$) = 5°С для прослойки шириной $\delta = 0,01$ м значение величины $\lambda_1 + \lambda_2 = 0,024$ Вт/м°С, при перепаде температуры ($\tau_1 - \tau_2$) = 10°С значение величины $\lambda_1 + \lambda_2 = 0,026$ Вт/м°С при той же ширине воздушной прослойки, а при перепаде температуры ($\tau_1 - \tau_2$) = 15°С значение величины $\lambda_1 + \lambda_2 = 0,028$ Вт/м°С.

Количество теплоты передаваемой излучением через воздушную прослойку q_3 , вычисляется по формуле:

$$q_3 = \epsilon_{np} C_0 \left[\left[\frac{\tau_1 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{\tau_2 + 273}{100} \right]^4 \right]$$

где ϵ_{np} - коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5,76$ Вт/м²К⁴; ϵ_{np} - приведенная степень черноты системы из двух материалов, определяемая по соотношению:

$$\frac{1}{\varepsilon_{\text{нр}}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1$$

в этой формуле ε_1 и ε_2 – степень черноты поверхности алюминиевой фольги и поверхности отделочного листового материала соответственно. В нашем случае q_3 можно представить в виде $q_3 = (\tau_1 - \tau_2)a_l$, где a_l – условный коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/м²°С, определяемый по формуле:

$$a_l = \varepsilon_{\text{нр}} C_0 \left[\left[\frac{\tau_1 + 273}{100} \right]^4 - \left[\frac{\tau_2 + 273}{100} \right]^4 \right] (\tau_1 - \tau_2)^{-1}$$

Введем понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки λ_3 , с учетом сказанного выше $\lambda_3 = \lambda_1 + \lambda_2 + a_l \delta$, таким образом суммарный поток теплоты через замкнутую воздушную прослойку определяется соотношением $q = (\tau_1 - \tau_2) [(\lambda_1 + \lambda_2 + a_l \delta) / \delta]$.

Эффективность дополнительной теплоизоляции в варианте с «тепловым зеркалом» и замкнутой воздушной прослойкой проверялась в климатической камере при испытании фрагментов конструкций наружной стены.

Конструкция 1 (рис.1) дополнительной теплоизоляции состояла из слоя теплоизоляционного материала Пенофол® тип А общей толщиной 10 мм с замкнутой воздушной прослойкой толщиной 10 мм, созданной защитными листовыми материалами - гипсокартонным листом, установленным на отnose. В качестве несущей части стены была использована кирпичная кладка толщиной 250 мм. Фрагмент конструкции дополнительной теплоизоляции размером 1000x1000 мм был установлен на кирпичной кладке в теплом отсеке климатической камеры, а воздушная прослойка была сформирована за счет деревянных реек, установленных по периметру фрагмента. К рейкам был прикреплен гипсокартонный лист, что обеспечивало замкнутое воздушное пространство между материалом Пенофол® тип А и гипсокартонным листом. Вся конструкция дополнительной теплоизоляции по контуру была влагоизолирована.

Конструкция 2 (рис.1) состояла из слоя пенополистирола плотностью 25 кг/м³ толщиной 50 мм с плёнкой "Армофол", приклеенной к поверхности пенополистирольной плиты, с замкнутой воздушной прослойкой толщиной 20 мм и гипсокартонным листом толщиной 12 мм.

В камере поддерживался температурно-влажностный режим воздуха в тёплой зоне камеры $17 \pm 0,5$ °С, при относительной влажности воздуха 50 %, температура воздуха в холодной зоне камеры составляла минус $26,0 \pm 0,5$ °С. Результаты теплотехнических испытаний приведены в таблице 1. Эксперимент продолжался в течение двух календарных месяцев. Дополнительного увлажнения слоёв конструкций через слой Пенофола® тип А не обнаружено, и конденсата на поверхности отражающей изоляции из алюминиевой фольги также не наблюдалось.

Испытания проводились в двух вариантах теплотехнических характеристик несущей части стены: первый вариант – фрагменты дополнительной теплоизоляции были установлены на кирпичной кладке, второй вариант – с наружной стороны кирпичной

кладки была выполнена теплоизоляция толщиной 100 мм из материала "Изовер", наружная поверхность теплоизоляционного материала была защищена мембраной "Парок".

Продолжительность испытаний в двух вариантах теплотехнических характеристик несущей части стены составила два календарных месяца.

Схема фрагментов конструкций, установленных в климатической камере, с расстановкой в характерных точках термомпар и тепломеров, приведена на рис. 1.

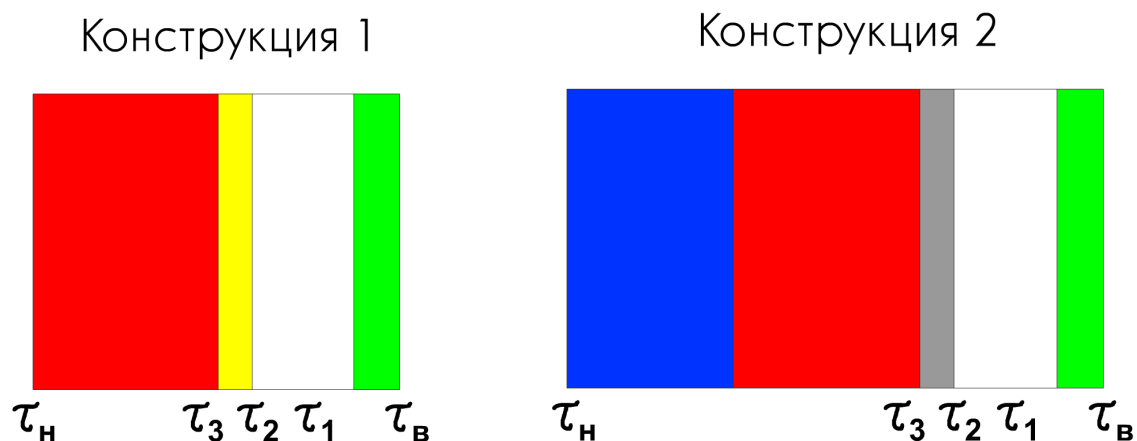


Рисунок 1 - Схема фрагментов конструкций.

Условные обозначения для конструкции 1:

- τ_b - Температура поверхности гипсокартонной плиты, °С;
- τ_1 - Температура воздушной прослойки, °С;
- τ_2 - Температура поверхности Пенофола, °С;
- τ_3 - Температура внутренней поверхности кирпичной кладки, °С;
- τ_n - Температура наружной поверхности кирпичной кладки, °С;

Условные обозначения для конструкции 2:

- τ_b - Температура поверхности гипсокартонной плиты, °С;
- τ_1 - Температура воздушной прослойки, °С;
- τ_2 - Температура поверхности пенополистирола, °С;
- τ_3 - Температура внутренней поверхности кирпичной кладки, °С;
- τ_n - Температура наружной поверхности Наружного слоя теплоизоляции, °С;

Результаты теплотехнических испытаний фрагментов конструкции № 1 и 2 в климатической камере приведены в таблице 1.

Таблица 1

Фрагмент	Температура поверхности по сечению фрагмента, °С					Общее термическое сопротивление, м ² °С/Вт	Термическое сопротивление, дополнительной конструкции, м ² °С/Вт	Удельный тепловой поток, Вт/м ²
	τ _н	τ _з	τ ₂	τ ₁	τ _в			
Конструкция 1								
На кирпичной кладке	-25,2	-16	0	8,2	13,3	1,25	0,78	30,5
На кирпичной кладке с наружной теплоизоляцией	-18	6,7	10,8	12,7	15,2	3,7	0,72	10,5
Конструкция 1								
На кирпичной кладке	-23,4	-18,5	4,6	13	14,5	1,9	0,75	20,5
На кирпичной кладке с наружной теплоизоляцией	-23	0,3	10,5	12,5	15	5,1	0,7	7,5

Результаты теплотехнических испытаний показали:

- конструкция 1, состоящая из слоя Пенофола® толщиной 10 мм, с замкнутой воздушной прослойкой толщиной 20 мм и гипсокартонным листом толщиной 12 мм имеет большую величину термического сопротивления по сравнению с конструкцией 2, поскольку слой Пенофола® существенно увеличивает теплозащитный эффект;

- дополнительную теплоизоляцию по вариантам 1 или 2 следует применять для снижения теплотерь, если несущая часть наружной стены имеет величину термического сопротивления не менее значений Δ R_к, это условие обеспечит тепловое состояние слоя дополнительной теплоизоляции в зоне положительных температур.

Проведённый эксперимент показал эффективность применения Пенофола® в сочетании с замкнутой воздушной прослойкой, созданной защитными листовыми материалами, например, гипсокартонными листами. Устройство дополнительной теплоизоляции рационально использовать при реконструкции существующего фонда жилых зданий, т.к. позволяет в 1,5 - 2,0 раза увеличить теплозащиту наружных стен при минимальном изменении объёма помещений.

Необходимым условием использования конструкций дополнительной теплоизоляции при внутреннем утеплении зданий является следующее теплотехническое требование: термическое сопротивление конструкции, для которой проектируется устройство дополнительной теплоизоляции, должно быть не меньше значения термического сопротивления слоя дополнительной теплоизоляции. Теоретически это условие имеет следующий вид:

$$\Delta R_k^{доп} \leq [t_B R_k^{ст} + t_B (R_H + R_B)] (t_H)^{-1}$$

Расчет по приведенной выше формуле показывает, что при термическом сопротивлении несущей части стены $R_{к^{ст}} = 1,0 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, величина $\Delta R_{к^{доп}}$ не должна превышать значения $\Delta R_{к^{доп}} = 0,80 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при расчетных значениях температур наружного воздуха $t_n = -30^\circ\text{C}$ и внутренней среды $t_b = +20^\circ\text{C}$. При термическом сопротивлении несущей стены $R_{к^{ст}} = 2,0 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, величина $\Delta R_{к^{доп}}$ не должна превышать значения $\Delta R_{к^{доп}} = 1,45 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при расчетных значениях температур наружного воздуха $t_n = -30^\circ\text{C}$ и внутренней среды $t_b = +20^\circ\text{C}$.

По результатам эксперимента замкнутая воздушная прослойка между слоем Пенофола® тип А и защитным листовым материалом имеет величину термического сопротивления $\Delta R_k = 0,5 \div 0,6 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а суммарное значение термического сопротивления дополнительной теплоизоляции конструкций с учётом листовых защитных материалов, составляет не менее $0,7 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Эти результаты базируются на экспериментальных данных, полученных при испытании описанной выше конструкции в климатической камере НИИСФ, и могут быть использованы при проектировании реконструируемых и вновь возводимых зданий.