

УДК 697.1

Ю.С. ВЫТЧИКОВ**М.Е. САПАРЁВ****ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАМКНУТЫХ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКРАННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ***INVESTIGATION OF DEAD AIR SPACE HEAT-SHIELD PERFORMANCE WITH SCREEN HEAT INSULATION IN ENCLOSURE STRUCTURES*

Приводятся методы расчета и экспериментальные исследования теплозащитных характеристик замкнутых воздушных прослоек. Представлены конструктивные решения перекрытий, покрытий и наружных стен, утепленных с помощью экранной тепловой изоляции.

Ключевые слова: экранная теплоизоляция, ограждающая конструкция, теплопроводность, тепловой поток, термическое сопротивление, воздушная прослойка, ресурсоэнергосбережение.

В последние годы особое внимание в нашей стране уделяется вопросам энергосбережения. Необходимость в снижении потребления минерального сырья и ископаемого органического топлива прежде всего связана с сокращением их запасов и, как следствие, их постоянным удорожанием. Поэтому осуществление мер по энерго- и ресурсосбережению является приоритетным направлением по снижению энергоёмкости российской экономики.

В сфере строительства такие меры направлены на снижение тепловой энергии, которая потребляется зданиями для поддержания требуемых параметров микроклимата в помещениях. Применение теплоизоляционных материалов напрямую и косвенно позволяет обеспечить надёжность эксплуатации строительных ограждений зданий, а также условия жизнедеятельности и выполнение требований энергосбережения.

В связи с этим наиболее простой способ снижения тепловых потерь на отопление связан с повышением теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Но такая мера по энергосбережению не всегда является экономически эффективной, поскольку увеличение сопротивления теплопередаче за счёт использования традиционных теплоизоляционных материалов может существенно увеличить

Calculation methods and exploratory tests of dead air space heat-shield performance are viewed. Construction solutions of slabs, coverings, outside walls heat-insulated with screen heat insulation are proposed.

Key words: screen heat insulation, enclosure structure, thermal conductivity, heat flow, thermal resistivity, air space, cost-effective use of resources and energy.

себестоимость монтажа ограждающих конструкций. Такие затраты могут превысить экономию от увеличения теплозащитных свойств конструкции.

Поэтому одной из мер, позволяющих избежать перерасход традиционных теплоизоляционных материалов и сохранить требуемый уровень сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, является применение современной, высокоэффективной теплоизоляции, которая должна обладать высокими теплозащитными свойствами, экономичностью, применимостью для высоких и низких температур, а также быть безопасной для здоровья.

К таким теплоизоляционным материалам можно отнести материалы с высокой отражательной способностью. Преимущество экранной изоляции заключается в возможности эффективного использования такого природного теплоизолятора, как воздух. В строительных конструкциях, как правило, этот вид тепловой изоляции целесообразно использовать в виде пакета, представляющего собой совокупность материалов с малой поглощательной и большой отражательной способностью поверхностей экранов совместно с воздушными неветилируемыми воздушными прослойками между ними.

В настоящее время на российском рынке имеется большое количество подобных теплоизоляцион-

ных материалов отечественного и зарубежного производства. В первую очередь к ним можно отнести материалы из вспененного полиэтилена с экранной изоляцией из алюминиевой фольги. Такие материалы бывают с односторонним (Пенофол, Фольгоизол, Магнофол и др.) и двусторонним (Aluthermo QUATRO, Изолон, Теплофол и др.) фольгированием.

В силу своих физико-механических свойств теплоизоляция на основе вспененного полиэтилена является весьма эффективной, надёжной и простой в монтаже. По своим теплотехническим характеристикам полиэтилен превосходит многие традиционные теплоизоляционные материалы. Кроме того, к достоинствам вспененного полиэтилена можно отнести то, что этот материал гигиеничен, трудногорюч, не впитывает влагу, лёгок, применим для эксплуатации в различных климатических условиях.

В область применения такого материала в сфере гражданского и промышленного строительства входит его использование в качестве основного или вспомогательного утеплителя. В частности, целесообразно использование такой теплоизоляции при утеплении перекрытий над неотапливаемыми подвалами и над проездами, полов на лагах, а также чердачных покрытий, подкровельного пространства тёплых чердаков.

Известными производителями теплоизоляционных материалов (компаниями URSA и ISOVER) представлены рулонные утеплители из минеральной ваты, кашированные алюминиевой фольгой. Материалы на основе минеральной ваты легки, относятся к классу негорючих, гигиеничны, обладают хорошими теплотехническими свойствами. Данный утеплитель широко используется в горизонтальных строительных конструкциях для утепления полов над холодными подвалами и проездами, а также чердачных перекрытий.

Ввиду того, что перечисленные материалы в области строительства начали широко использоваться сравнительно недавно, то вполне закономерным является отсутствие объективной информации по их теплозащитным свойствам, а уже имеющаяся информация, которую, как правило, предоставляют производители данной продукции, носит весьма противоречивый характер. Поэтому в настоящее время возникает необходимость в едином подходе по оценке теплозащитных характеристик таких теплоизоляционных материалов, который позволит оценить эффективность применения подобной изоляции в строительстве.

Исследованию процесса теплопередачи через газовые прослойки и определению толщины посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных учёных. В работе [1] отмечено, что воздушные прослойки, ограниченные поверхностями с высокой отражательной способностью, эффективны лишь при низкой температуре, т.е. в строительных конструкциях. Кроме того, в данной работе вводится понятие оптимальной толщины воздушной прослойки, которая при данных температурах ограничивающих поверхностей подсчитывается для каждого случая и имеет максимальное термическое сопротивление.

В работе [3] приведена графическая зависимость коэффициента конвекции ϵ_k от произведения чисел подобия Gr и Pr, а также эта зависимость представлена в виде критериальных уравнений, которые могут использоваться в инженерных расчётах.

Следует отметить высокие эксплуатационные свойства отражающей изоляции при использовании её в строительных ограждающих конструкциях. Так, в работе [2] автор отмечает постоянство отражающей способности алюминиевой фольги и термического сопротивления экранированной воздушной прослойки даже при неблагоприятных условиях.

Данные экспериментальных исследований, приведённые в работе [2], показывают надёжность экранной изоляции в условиях вибрации, высоких температур и многократных увлажнений.

Теплоперенос через воздушную прослойку от одной поверхности к другой под действием разности температур осуществляется путем теплопроводности, конвекции и излучения. Ввиду того, что закономерности лучистого теплообмена, теплопроводности и конвекции сильно различаются, то решение задач существенно осложняется даже в случае, когда все три процесса протекают независимо друг от друга. К. Хенки было введено понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности воздуха, в результате чего появилась возможность вести расчеты теплопередачи через воздушные прослойки, пользуясь формулами, подчиняющимися законам передачи тепла через твёрдые тела.

Важно отметить, что направление теплового потока через воздушную прослойку существенно влияет на значение эквивалентного коэффициента теплопроводности. Поэтому рассмотрим возможные варианты строительных конструкций с воздушными прослойками и утеплённых экранной изоляцией.

При направлении теплового потока сверху вниз через конструкцию, представленную на рис. 1,

в замкнутой прослойке течение воздуха может отсутствовать и тогда конвективная составляющая в процессе теплопереноса учитываться не будет. Такие конструкции в строительстве могут использоваться для устройства полов на лагах, перекрытий над неотапливаемыми подвалами и проездами.

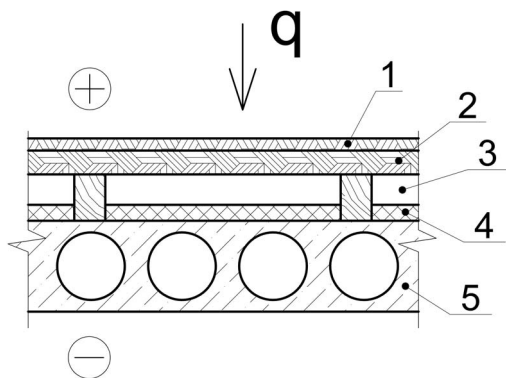


Рис. 1. Схема конструкции полов на лагах:
1 – покрытие пола; 2 – древесноволокнистая плита;
3 – воздушная прослойка; 4 – экранная изоляция;
5 – железобетонная плита

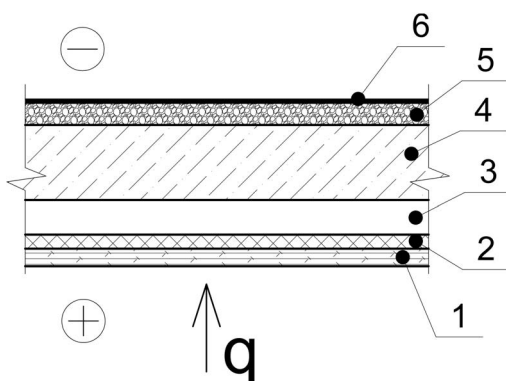


Рис. 2. Схема конструкции чердачного покрытия:
1 – цементно-магнелиевая плита; 2 – экранная изоляция;
3 – воздушная прослойка; 4 – железобетонная плита;
5 – слой керамзитобетона; 6 – гидроизоляционный слой

В горизонтальной воздушной прослойке, когда тепловой поток направлен снизу-вверх, как это представлено на рис. 2, нагретые частицы воздуха стремятся вверх, в результате чего возникают конвективные токи. В строительной практике использование подобных конструкций может быть рекомендовано при утеплении перекрытий над тёплым чердаком. Применение указанной выше конструкции позволяет существенно уменьшить толщину слоя керамзитобетона и, как следствие, снизить силовую нагрузку на фундамент.

В случае, представленном на рис. 3, аналогично предыдущему, также следует учитывать конвективную составляющую. Ввиду того, что толщина воз-

душной прослойки в строительных конструкциях, как правило, невелика, то в последних двух случаях вследствие взаимного влияния пограничных тепловых и гидродинамических слоёв возникают внутренние циркуляционные контуры.

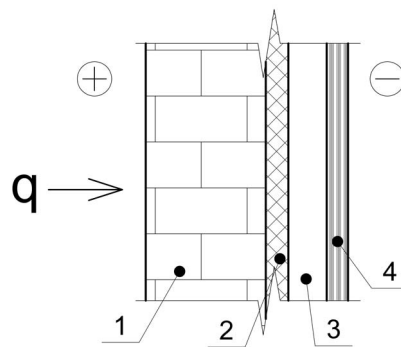


Рис. 3. Схема конструкции наружной стены:
1 – кладка из стеновых камней; 2 – экранная изоляция;
3 – воздушная прослойка; 4 – облицовочный слой

Принимая во внимание особенности теплопередачи в рассмотренных трёх случаях, очевидно, что наименьший тепловой поток при прочих равных условиях будет наблюдаться в первом варианте, а значение эквивалентного коэффициента теплопроводности воздушной прослойки для всех конструкций будет определяться по формуле

$$\lambda_{\text{экр}} = \lambda_{\text{м}} \varepsilon_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}} \delta, \quad \frac{Bm}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{м}}$ - значение коэффициента теплопроводности воздуха, $\frac{Bm}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$\varepsilon_{\text{к}}$ - поправочный коэффициент, учитывающий влияние естественной конвекции;

$\alpha_{\text{л}}$ - коэффициент теплоотдачи излучением, $\frac{Bm}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$;

δ - толщина воздушной прослойки, м.

Значение коэффициента, учитывающего свободную конвекцию, можно определить, используя уравнение, полученное М.А. Михеевым при $10^3 < GrPr < 10^6$:

$$\varepsilon_{\text{к}} = 0,105(Gr \cdot Pr)^{0,3}, \quad (2)$$

где Gr - критерий Грасгофа, определяемый по формуле

$$Gr = \frac{g \delta^3 \beta \Delta t}{\nu^2}, \quad (3)$$

здесь g - ускорение свободного падения, м/с^2 ;

β - температурный коэффициент объёмного расширения, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{1}{t_m + 273}, \frac{1}{K}, \quad (4)$$

$t_m = 0,5(\tau_1 + \tau_2)$ – средняя температура воздуха в прослойке, °C;

$\Delta t = \tau_1 - \tau_2$ – разность температур на внутренних поверхностях прослойки, °C;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

δ – определяющий размер воздушной прослойки, м;

Pr – критерий Прандтля.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется из следующего выражения:

$$\alpha_{\text{л}} = \frac{C_o \left[\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) (t_1 - t_2)}, \quad (5)$$

где $C_o = 5,67 \frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$ – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – степень черноты внутренних поверхностей прослойки.

Для определения величин, входящих в формулу (1), использовался метод последовательных приближений, который подробно описан в работе [4].

По изложенной методике был выполнен расчёт конструкции, представленной на рис. 4.

В данном примере тепловой поток направлен сверху-вниз через замкнутую воздушную прослойку и слой экранной изоляции от греющей пластины к охлаждаемой. Температуры греющей t_1 и охлаждаемой t_2 пластин принимались равными соответственно 40,6 и 11,2 °C. В качестве экранной изоляции принимался материал Aluthermo QUATRO толщиной 10 мм и теплопроводностью $0,041 \frac{Вт}{м \cdot °C}$. Толщины воздушных прослоек принимались равными 10, 20 и 30 мм.

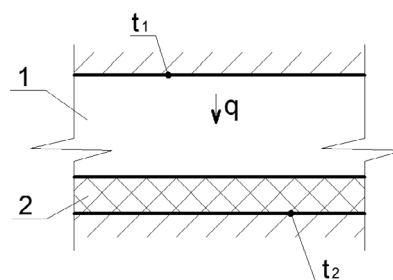


Рис. 4. Схема рассматриваемой конструкции:
1 – воздушная прослойка; 2 – теплоизоляционный материал Aluthermo QUATRO

Теплотехнические характеристики рассматриваемой конструкции, полученные расчётным путём, а также значения теплопроводности воздушных прослоек приведены в табл. 1.

В целях упрощения выбора оптимальной толщины воздушной прослойки в работе [5] представлена монограмма.

Для проверки данной расчётной модели на кафедре гидравлики и теплотехники СГАСУ был проведён ряд экспериментальных исследований по определению теплопроводности замкнутых воздушных прослоек в конструкциях с применением экранной изоляции.

Определение коэффициента теплопроводности проводилось стационарным методом в соответствии с ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном режиме» с использованием измерителя теплопроводности ИТП-МГ 4 «250».

При исследовании использовалась конструкция, приведенная на рис. 4. В качестве экранной изоляции аналогично рассмотренному примеру принимался материал Aluthermo QUATRO.

Схема конструкции, используемой в эксперименте, приведена на рис. 1.

Результаты экспериментального исследования представлены в сравнительном графике на рис. 5.

Таблица 1

Расчетные теплотехнические характеристики			
Толщина воздушной прослойки, мм	Теплопроводность воздушной прослойки, $\frac{Вт}{м \cdot °C}$	Термическое сопротивление воздушной прослойки, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$	Термическое сопротивление конструкции, $\frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$
10	0,029	0,345	0,601
20	0,031	0,645	0,901
30	0,033	0,909	1,165

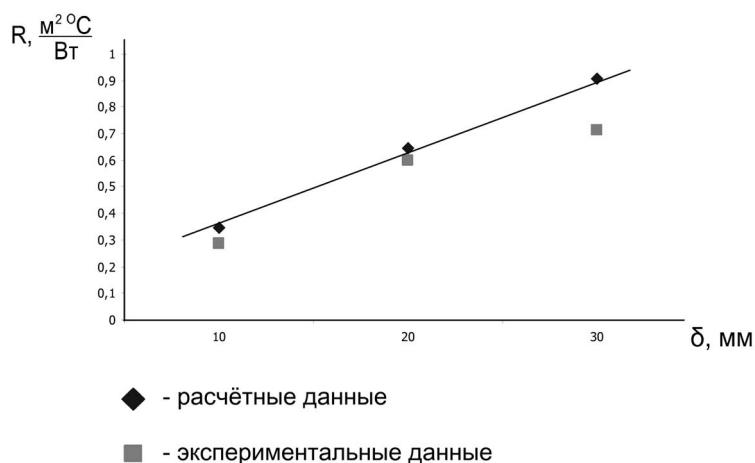


Рис. 5. Зависимость термического сопротивления воздушной прослойки от её толщины

Сравнивая данные, представленные на рис. 5, очевидно, что при толщинах воздушных прослоек 10 и 20 мм значения термических сопротивлений, полученных расчётным и экспериментальным путем, практически совпадают. При дальнейшем увеличении толщины воздушной прослойки до 30 мм, как это видно на графике, наблюдается расхождение между экспериментальными и расчётными данными.

Результаты проведенных расчетов и экспериментальных исследований показали, что применение экранной тепловой изоляции позволят существенно повысить сопротивление теплопередаче строительных ограждающих конструкций и энергоэффективность зданий и сооружений при относительно невысокой стойкости строительно-монтажных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каммерер И.С. Теплоизоляция в промышленности и строительстве. М.: Стройиздат, 1965.
2. Аркадьев Л.В., Поволоцкий В.А. Исследование многоэкранной изоляции // Изв. вузов. Сер. Энергетика. 1964. №1. С. 12-15.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. 2-е издание, стереотипное. М.: Энергия, 1977.
4. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е. Исследование теплозащитных характеристик сэндвич-панелей с применением экранной изоляции // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник трудов / СГАСУ. Самара, 2012. С. 100-105.
5. Сапарёв М.Е. Повышение теплозащитных характеристик керамзитобетонных ограждающих конструкций с помощью экранной тепловой изоляции // Строительные материалы. 2013. №11(707). С. 12-15.

© Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.В., 2014

Об авторах:

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, доцент кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-76

САПАРЁВ Михаил Евгеньевич

аспирант кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный архитектурно-строительный университет
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-76

VITCHIKOV Yuri

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the General and Application-Oriented Physics and Chemistry Chair Samara State University of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-76

SAPARYOV Mikhail

Postgraduate Student of the General and Application-Oriented Physics and Chemistry Chair Samara State University of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-76

Для цитирования: Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е. Исследование теплозащитных характеристик замкнутых воздушных прослоек в строительных ограждающих конструкциях с применением экранной теплоизоляции // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 1 (14). С. 98-102.