



# ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФАСАДОВ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМ ВОЗДУШНЫМ ЗАЗОРОМ

Ограждающие конструкции с вентилируемыми воздушными прослойками давно использовались при строительстве зданий. Они применялись для нормализации влажностного режима или для снижения перегрева от солнечной радиации, поэтому их теплофизические свойства исследовались с этих точек зрения в работах советских теплофизиков.

В книге К.Ф.Фокина [1] приведен детальный «расчет ограждений с вентилируемой воздушной прослойкой», который «имеет целью определение температуры воздуха в прослойке и действительных величин сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередаче таких ограждений». Подробно рассмотрены расчеты теплового и влажностного режимов ограждений с вентилируемой воздушной прослойкой в учебнике В.Н.Богословского [2]. Основными отличиями фасадов с вентилируемым воздушным зазором от давно известных стен с вентилируемой воздушной прослойкой является наличие в зазоре мощного теплоизоляционного слоя, металлической подконструкции и облицовочного слоя, определяющего архитектурный облик здания. Если стены с вентилируемой воздушной прослойкой применялись в малоэтажных зданиях, то фасады с вентилируемым воздушным зазором применяются и в многоэтажных зданиях высотой в десятки метров, что также определяет специфику их теплофизических свойств. Основная цель, которой обосновывается в настоящее время применение фасадов с вентилируемым воздушным зазором, — повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий с нормальным температурно-влажностным режимом до уровня нормативных требований, введенных изменением №3 СНиП II-3-79\*. Следовательно, характеристики теплозащиты должны рассчитываться и контролироваться в первую очередь. Однако именно такие расчеты часто проводятся весьма приближенно или не проводятся совсем, несмотря на насыщенность конструкции теплопроводными включениями в виде металлических кронштейнов и направляющих. Старые методы расчетов [1, 2] не учитывают такого количества теплопроводных включений, поскольку, с одной стороны, наши предшественники не могли и подумать о возможности применения таких металлоемких конструкций, а с другой стороны, — не стояла задача обеспечения таких больших значений сопротивления теплопередаче ограждений. Поэтому для анализа теплозащитных свойств фасадов с вентилируемым воздушным зазором эти методы должны быть модифицированы.

Основной характеристикой теплозащиты ограждающих конструкций является приведенное сопротивление теплопередаче,  $R_o^{np}$ . На стадии проектирования эта характеристика является расчетной и определяется, уравнением (10) из СНиП II-3-79\* [3]:

$$R_o^{np} = \frac{t_v - t_n}{q} \tag{1}$$

Фасады с облицовкой на отnose имеют более сложную картину теплопередачи, чем предусмотрена в СНиП II-3-79\* этой формулой. Имеются два участка с различной природой теплопереноса, которые приходится рассчитывать отдельно. Поэтому представляется целесообразным закрепить в базовом уравнении двухкомпонентность переноса теплоты:

$$R_o^{np} = \frac{t_v - t_n}{q} = R_{CHuП}^{np} + R_{зазора}^{эф} = R_o^{yca} \cdot r + R_{зазора}^{эф} \tag{2}$$

Первое слагаемое в правой части формулы (2) описывает теплопередачу через стену с утеплителем с теплопроводными вклю-

чениями, второе слагаемое — через воздушный зазор и облицовку. В случае отсутствия облицовки на отnose и воздушного зазора второе слагаемое исчезает и получается привычная для специалистов формула:

$$R_o^{np} = R_{CHuП}^{np} = R_o^{yca} \cdot r = \left( \frac{1}{\alpha_v} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\delta}{\lambda} \right)_i + \frac{1}{\alpha_n} \right) \cdot r \tag{3}$$

Важно отметить, что в  $R_{CHuП}^{np}$  по формуле (3) учитывается  $\alpha_n$ , принимаемое по СНиП II-3-79\*, а не расчетное значение коэффициента теплоотдаче поверхностей в зазоре,  $\alpha_{заз}$ , которое должно было бы учитываться при расчете сопротивления теплопередаче стены с утеплителем. Так сделано для того, чтобы величина  $R_{CHuП}^{np}$  полностью совпадала с расчетной величиной, определяемой по СНиП II-3-79\*. Эффект от снижения  $\alpha_{заз}$  по сравнению с  $\alpha_n$  учитывается при расчете  $R_{зазора}^{эф}$ .

В формулах (1) — (3) приняты следующие обозначения:  
 $t_v, t_n$  — температура внутреннего и наружного воздуха соответственно, °C;

$q$  — плотность потока теплоты через конструкцию, Вт/кв. м;  
 $R_{CHuП}^{np}$  — приведенное сопротивление теплопередаче конструкции стены с утеплителем, определяемое в соответствии со СНиП II-3-79\* (т. е. без учета воздушного зазора), кв. м °C/Вт;

$r$  — коэффициент теплотехнической однородности конструкции;

$R_{зазора}^{эф}$  — эффективное термическое сопротивление воздушного зазора, кв. м °C/Вт.

Величина  $R_{зазора}^{эф}$  изменяется по высоте зазора. Анализ процессов теплопередачи в воздушном зазоре позволил получить формулу для расчета  $R_{зазора}^{эф}$ :

$$R_{зазора}^{эф} = R_{CHuП}^{np} \frac{t_{заз} - t_n}{t_v - t_{заз}} + \left( \frac{1}{\alpha_{заз}} - \frac{1}{\alpha_n} \right) \frac{t_v - t_n}{t_v - t_{заз}} \tag{4}$$

где  $\alpha_{заз}$  — коэффициент теплообмена в воздушном зазоре, Вт/(кв. м °C);

$t_{заз}$  — температура воздуха в воздушном зазоре, °C.

Является закономерным вопрос, какой из параметров  $R_o^{np}$  или  $R_{CHuП}^{np}$  считать характеристикой конструкции фасада при проведении расчетов? Представляется, что в качестве характеристики конкретной системы фасада при сравнении этих систем и в других подобных случаях целесообразно использовать  $R_{CHuП}^{np}$ , при этом, естественно, не следует учитывать влияние оконных откосов на значение приведенного сопротивления теплопередаче. Если бы нормирование сопротивления теплопередаче проводилось, исходя из санитарно-гигиенических требований, в качестве расчетного следовало бы принять  $R_{CHuП}^{np}$ . Однако поскольку в настоящее время сопротивление теплопередаче нормируется, исходя из требований «энергосбережения», то при расчете энергоэффективности здания следует использовать значение  $R_o^{np}$ , определяемое по формуле (2) и осредненное по всей высоте непрерывного воздушного зазора. Такая характеристика фасада обозначается в дальнейшем  $R_o^{np}$ . Рассчитывать  $R_o^{np}$  следует при средней температуре отопительного периода. Такой подход позволит максимально учесть процессы теплопередачи, происходящие в конструкции.

Для расчета приведенного сопротивления теплопередаче конструкции  $R_{CHuП}^{np}$  необходимо знать два параметра:  $R_o^{yca}$  и  $r$ . Расчет  $R_o^{yca}$  для части конструкции без воздушного зазора хорошо изве-



стен и не вызывает затруднений. Расчет коэффициента теплотехнической однородности части конструкции,  $g$ , имеет ряд особенностей. Методика такого расчета должна иметь возможность учета:

- многообразия форм кронштейнов, применяемых в различных системах;
- количества кронштейнов, используемых в конструкции;
- подконструкции, расположенной в зазоре, и облицовки.

Теоретически такая задача решается расчетом трехмерного температурного поля. Однако даже в этом случае учесть все факторы не представляется возможным: сложная форма кронштейна, разнообразные вставки, клепки, болты, направляющие, кляммеры настолько усложняют расчетную схему, что для систематического решения практических задач она становится непригодной. Наиболее значительным упрощением при решении данной задачи является отказ от внесения в расчетную схему сложных элементов (кляммеров, направляющих, плит облицовки) и учет их влияния граничными условиями. Вторым

упрощением является переход к цилиндрическим координатам [4].

Потери теплоты через кронштейны для различных фасадных систем могут существенно различаться, поскольку сталь имеет коэффициент теплопроводности примерно в 5 раз меньший, чем алюминий, а размеры кронштейнов могут отличаться. Для иллюстрации возможностей методики определено влияние некоторых факторов на коэффициент теплотехнической однородности конструкции. При этом рассматривается следующая конструкция: стена (конструкционный слой) из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_x = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$  и толщиной  $\delta_x = 0,25 \text{ м}$  (соответствует кладке из полнотелого керамического кирпича), слой теплоизоляции толщиной  $\delta_y = 0,15 \text{ м}$  из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_y = 0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$  (примерно соответствует минераловатным плитам). Другие параметры варьировались при проведении расчетов. Сопротивление теплопередаче по глади рассматриваемой конструкции составляет  $3,53 \text{ кв. м}^\circ\text{С/Вт}$ . Критическое значение коэффициента те-

плотехнической однородности, ниже которого приведенное сопротивление теплопередаче конструкции менее  $2,68 \text{ кв. м}^\circ\text{С/Вт}$  (требуемое значение для административных зданий в Москве по табл. 16 СНиП II-3-79\*) составляет  $r_{кр} = 0,76$ .

На рис. 1 представлены результаты расчетов коэффициентов теплотехнической однородности при изменении количества кронштейнов, приходящихся на  $1 \text{ кв. м}$  фасада. Площадь поперечного сечения кронштейна принята равной  $2 \text{ кв. см}$ . Количество кронштейнов,  $n_k$ , существенно влияет на значение  $g$ , при увеличении  $n_k$  от 1 до 4 величина  $g$  снижается с  $0,93$  до  $0,76$  в случае выполнения кронштейнов из стали и с  $0,83$  до  $0,56$ , если кронштейны выполнены из алюминия. В действительности величина  $n_k$  вряд ли будет ниже  $1,5 - 2$ , а в большинстве случаев  $n_k$  будет более 3. В таких случаях значение  $g$  будет менее  $0,8$ , если кронштейны выполнены из стали, и значение  $g$  будет менее  $0,6$ , если кронштейны выполнены из алюминия.

Из других параметров, влияющих на значение коэффициента теплотехнической однородности, наиболее значимым является площадь поперечного сечения кронштейнов. На рис. 2 представлены результаты расчетов при изменении площади поперечного сечения кронштейнов. При этом количество кронштейнов, приходящихся на  $1 \text{ кв. м}$  фасада, принято равным  $n_k = 2$ .

Для расчета  $R_{зазора}^{эф}$  необходимо проводить совместный расчет температуры и скорости движения воздуха в зазоре. Расчет теплообмена в вентилируемом воздушном зазоре является сложной задачей. Между поверхностями облицовки и теплоизоляции осуществляется лучистый теплообмен с коэффициентом лучистого теплообмена, зависящим от температуры. Конвективный теплообмен осуществляется между воздухом в зазоре и элементами конструкции, коэффициенты конвективного теплообмена зависят от скорости движения воздуха и температуры воздуха и элементов конструкции. Скорость движения воздуха в зазоре, в свою очередь, зависит от его средней температуры. А расчет температуры предполагает знание скорости движения воздуха и коэффициентов теплообмена в воздушном зазоре. Нелинейная взаимосвязь расчетных параметров, включающая эмпирические уравнения, не позволяет получить их расчетные формулы. Поэтому расчет температуры воздуха и других параметров в воздушном зазоре следует проводить численно итерационным методом. В результате такого расчета определяются температура, скорость движения воздуха и другие параметры теплообмена в зазоре.

Кратко эта методика описана в [4]. Расчет по ней позволяет получить зависимости  $R_{зазора}^{эф}$  от различных параметров. Например, на рис. 3

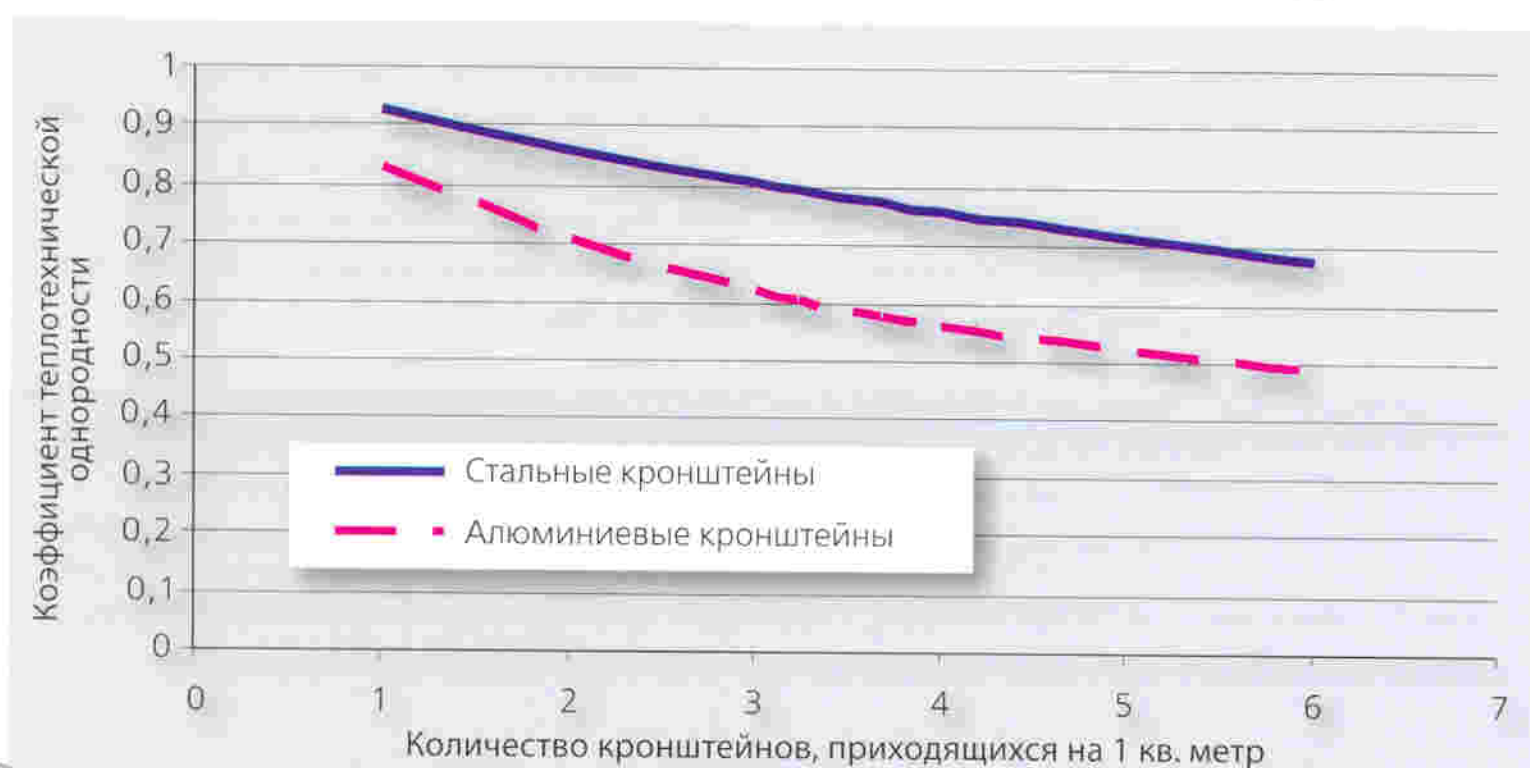


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности от количества кронштейнов, приходящихся на  $1 \text{ кв. м}$  фасада. При площади поперечного сечения кронштейна  $2 \text{ кв. см}$ .

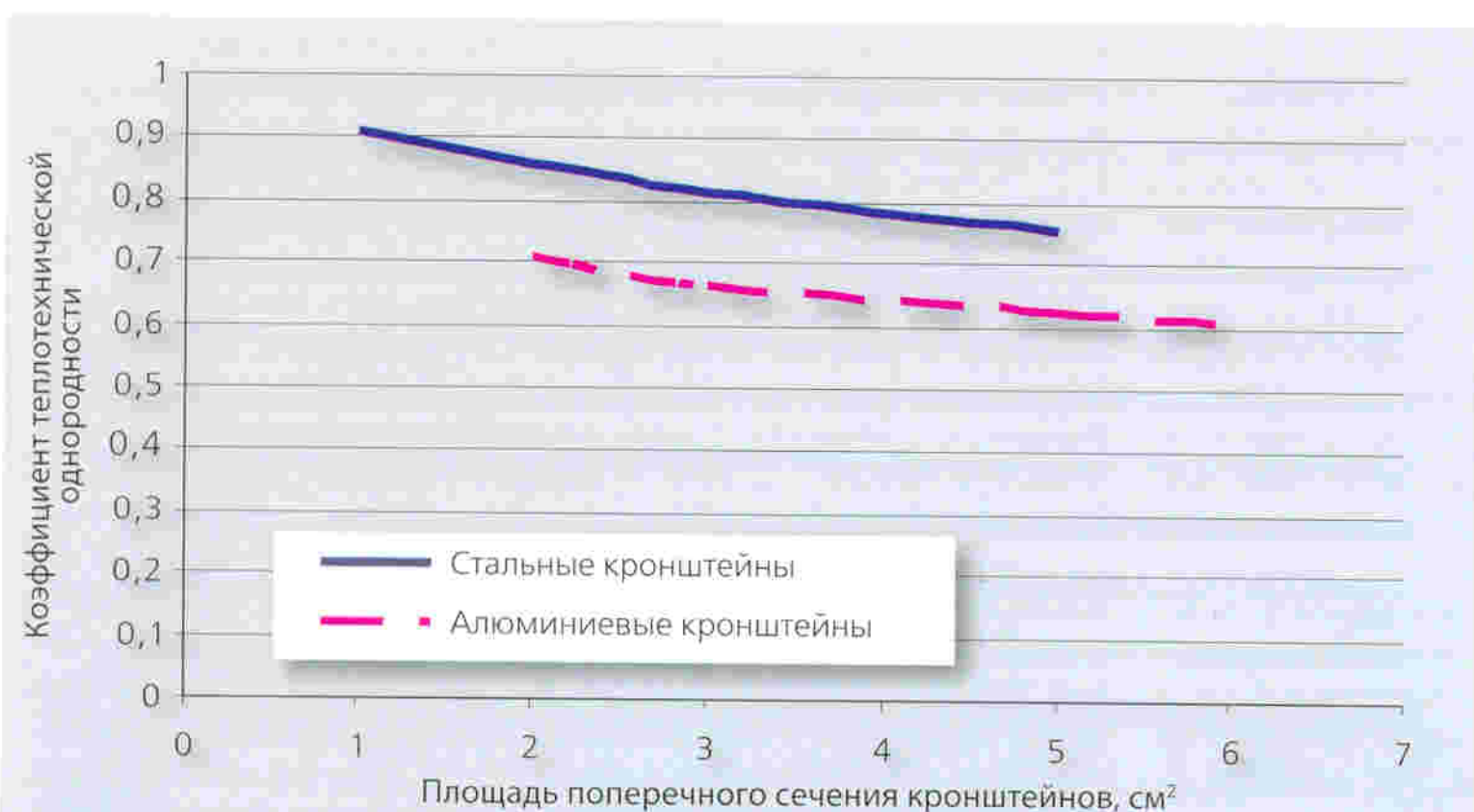


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности от площади поперечного сечения кронштейнов. При количестве 2 кронштейнов на  $1 \text{ кв. м}$  фасада.



представлена такая зависимость от ширины воздушного зазора при различных значениях высоты фасада. Из рисунка видно, что значение  $R_{\text{зазора}}^{\text{эф}}$  не превышает 0,25 кв. м °С/Вт. В некоторых случаях это добавление к сопротивлению теплопередаче конструкции может оказаться значимым, поскольку поможет удовлетворить требованиям по «энергосбережению».

Таким образом, теплозащитные свойства фасадов с вентилируемым воздушным зазором зависят не только от толщины применяемого теплоизоляционного материала и его теплопроводности, но и от ряда других параметров, из которых влияние кронштейнов является определяющим. При этом параметрами, оказывающими основное влияние, являются теплопроводность материала кронштейнов и их количество. Для зазора такими параметрами являются его ширина и приведенное термическое сопротивление части конструкции от внутреннего воздуха до поверхности теплоизоляции в воздушном зазоре. Максимальные теплозащитные свойства конструкции фасада достигаются при наименьшем количестве кронштейнов, вы-

полнении их из стали, при наименьшей площади их поперечного сечения и при минимально возможной (по условиям удаления влаги или по другим соображениям) величине воздушного зазора.

Результаты расчетов показывают, что обеспечение требуемых значений сопротивления теплопередаче фасадов с вентилируемым воздушным зазором является не такой простой задачей. При проектиро-

вании фасадов необходимо проводить достаточно полные расчеты теплозащитных характеристик конструкций для объективной оценки используемых систем. Это будет способствовать техническому совершенствованию систем фасадов с вентилируемым воздушным зазором и удовлетворению требуемых норм теплозащиты.

**В. Г. ГАГАРИН**, д. т. н.,  
почетный строитель России,  
зав. лаборатории,  
**В. В. КОЗЛОВ**, научный сотрудник.  
Лаборатория теплофизических характеристик и долговечности строительных материалов и конструкций НИИСФ

#### Литература.

1. К. Ф. Фокин. Строительная теплотехника. М., 1937 г.
2. В. Н. Богословский. Строительная теплофизика. — М., 1982 г.
3. СНиП II-3-79\*. Нормы проектирования. Ч. II. Строительная теплотехника. — М., 1998 г.
4. В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, Е. Ю. Цыкановский. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором. // Журнал АВОК. 2004, №2, №3.

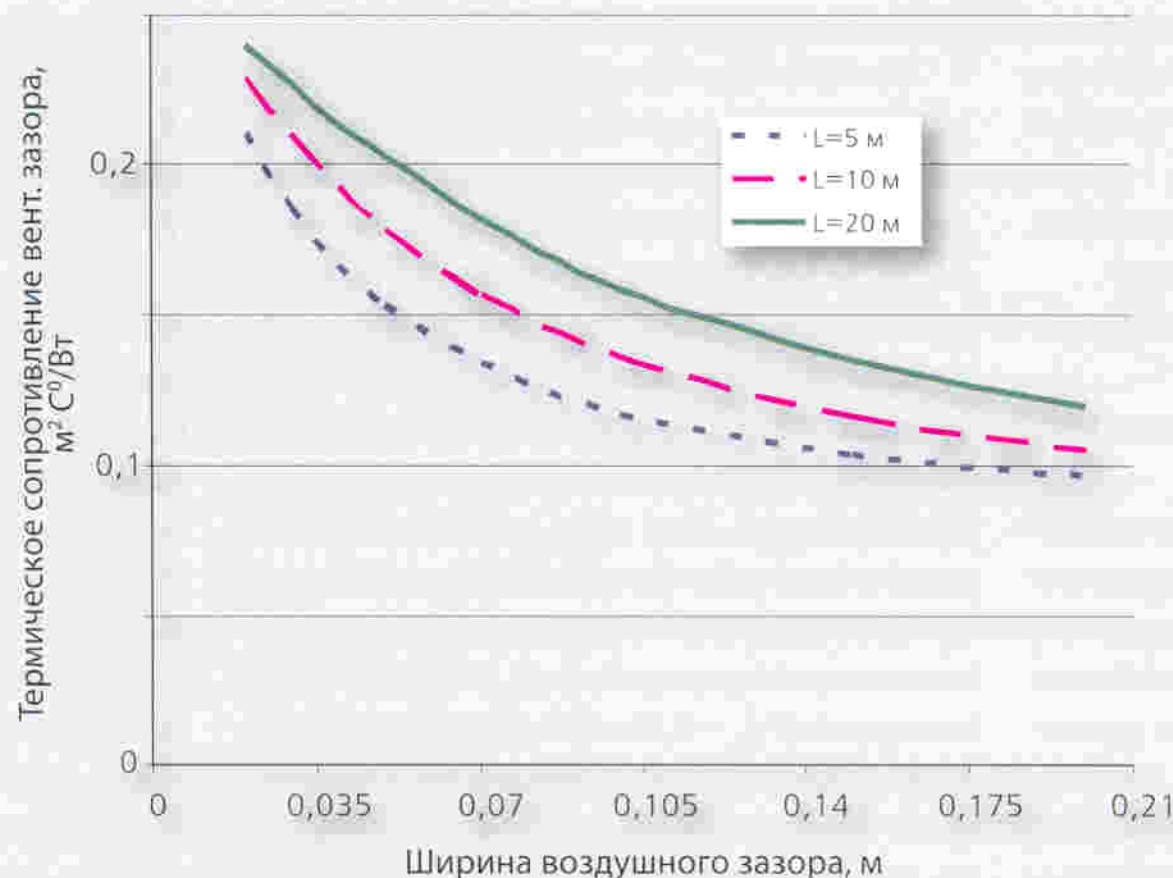


Рис. 3. Зависимость эффективного термического сопротивления воздушного зазора  $R_{\text{зазора}}^{\text{эф}}$  от ширины зазора  $d$  при различных значениях высоты фасада,  $L$ .