

УДК 99.86

Д. В. КОПЕЙКА

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ ОДНОРОДНОСТЬ НАВЕСНЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ
ФАСАДОВ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

Аннотация. Навесной фасад с вентилируемой воздушной прослойкой – один из самых популярных и эффективных способов утепления наружных ограждающих конструкций. Однако монтаж навесного фасада сопряжен с использованием большого количества крепежных элементов, которые являются теплопроводными включениями, ухудшающими тепловые характеристики конструкции. На степень однородности конструкции влияют геометрические параметры и концентрация крепежных элементов на 1 м² конструкции. На сегодняшний день проведены исследования, позволяющие усовершенствовать методику теплотехнического расчета навесных вентилируемых фасадов и установить степень влияния крепежных элементов на теплотехническую однородность конструкции. Целью данного исследования является определение влияния крепежных элементов на экономическую эффективность навесных вентилируемых фасадов.

Ключевые слова: навесной вентилируемый фасад, коэффициент однородности.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Технология «навесной фасад с вентилируемой воздушной прослойкой» считается одной из самых эффективных при утеплении ограждающих конструкций многоэтажных зданий. Эта технология имеет ряд существенных преимуществ, как например удаление влаги из конструкции, высокие теплоизоляционные характеристики, а также многообразие вариантов декоративной отделки конструкции [2]. Однако у этой технологии есть свои недостатки, связанные со сложностью монтажа и большим количеством крепежных элементов, которые могут влиять на ее экономическую эффективность.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Влиянию крепежных элементов на теплотехническую однородность навесных вентилируемых фасадов посвящены работы А. М. Протасевича, А. Б. Крутилина [4], В. Г. Гагарина, В. В. Козлова, Дмитриева [1, 2]. В этих работах рассматриваются теплотехнические основы расчетов параметров навесных вентилируемых фасадов с учетом влияния теплопроводных включений.

В работе О. А. Тусниной [6] рассматриваются применения современных программных комплексов для определения коэффициента теплотехнической однородности конструкций с навесным вентилируемым фасадом.

В работах [3, 7, 8] рассмотрены процессы переноса тепла в конструкциях с навесными фасадами.

Технико-экономическое обоснование применения фасадных конструкций при утеплении наружных стен зданий рассмотрено в работе [9].

Зарубежный опыт эксплуатации навесных фасадов с вентилируемой воздушной прослойкой представлен в [10, 11].

Целью данного исследования является на конкретном примере определить влияние крепежных элементов навесного вентилируемого фасада на теплотехническую однородность всей конструкции и соответственно на экономические параметры эффективности.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для ограждающих конструкций с вентилируемым навесным фасадом определяющими теплопроводными включениями являются кронштейны и анкерные болты [2, 4]. С помощью кронштейна несущий каркас соединяется с основанием, сам же кронштейн крепится к стене здания с помощью анкерного болта. Кронштейны могут быть выполнены из стали или алюминия и иметь различную форму.

В качестве теплоизоляционного материала в системах навесных вентилируемых фасадов, как правило, используют минеральную вату. Толщина теплоизоляционного слоя и воздушной прослойки определяется необходимым сопротивлением теплопередаче и паропроницанию ограждающей конструкции, параметрами влагопередачи, а также характеристиками выбранного для монтажа типа конструкции вентилируемого фасада [2].

Сопротивление теплопередаче конструкции с навесным вентилируемым фасадом определяется по формуле:

$$R_{нф} = \frac{1}{a_{int}} + (R_{cm} + R_{ym}) \cdot r + R_{np} + R_{\delta} + \frac{1}{a_{ext}}, \quad (1)$$

где R_{cm} – сопротивление теплопередаче наружной стены здания, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;
 R_{ym} – сопротивление теплопередаче слоя утеплителя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;
 R_{np} – сопротивление теплопередаче воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;
 R_{δ} – сопротивление теплопередаче декоративного слоя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;
 r – коэффициент теплотехнической однородности, обусловленный наличием теплопроводных включений.

Сопротивление теплопередаче наружных стен, теплоизоляционного слоя и декоративного слоя определяется согласно теплотехническим характеристикам материалов по формуле [5]:

$$R = \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}}, \quad (2)$$

где δ_{ym} – толщина теплоизоляционного слоя, м;
 λ_{ym} – теплопроводность теплоизоляционного слоя, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$.

Коэффициент теплотехнической однородности определяют из отношения тепловых потоков [2]:

$$r = \frac{Q_{cm}}{Q_{np}}, \quad (3)$$

где Q_{cm} – тепловой поток через ограждающую конструкцию без теплопроводного включения, Вт;
 Q_{np} – тепловой поток через ограждающую конструкцию с теплопроводным включением, Вт.

В качестве экономических параметров эффективности были использованы показатели эффективности инвестиционных проектов – чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности (ИД), срок окупаемости дисконтированных затрат ($T_{ок}$). Параметры экономической эффективности определяются по формулам:

$$\text{ЧДД} = \frac{R_{нф} \cdot (t_{int} - t_{ext}^{cp}) \times A_{cm} \times z_{ht} \cdot c_{м.э.}}{4,19 \cdot 10^9 \cdot R_{\delta\delta}^{des} \cdot R_{нф}} \times \frac{1 - (\frac{1}{1+E_p})^{T_{cs}}}{1 - (\frac{1}{1+E_p})} - A_{cm} \cdot (\delta_{ym} \cdot c_{м.м.} + c_{м.}), \quad (4)$$

$$\text{ИД} = \frac{R_{нф} \cdot (t_{int} - t_{ext}^{cp}) \cdot z_{ht} \cdot c_{м.э.} \cdot (1 - (\frac{1}{1+E_p})^{T_{cs}})}{4,19 \cdot 10^9 \cdot R_{\delta\delta}^{des} \cdot R_{нф} \cdot (\delta_{ym} \cdot c_{м.м.} + c_{м.}) \cdot (1 - (\frac{1}{1+E_p}))}, \quad (5)$$

$$ТОК = \frac{\ln\left(\frac{4,19 \cdot 10^9 \cdot R_{до}^{des} \cdot R_{нф} \cdot (\delta_{ум} \cdot c_{м.м.} + c_m) \cdot \left(1 - \frac{1}{1+E_p}\right)}{R_{нф} \cdot (t_{int} - t_{ext}^{cp}) \cdot z_{ht} \cdot c_{м.э.}}\right)}{\ln\left(\frac{1}{1+E_p}\right)}, \quad (6)$$

где A_{cm} – площадь ограждающей конструкции, м²;
 z_{ht} – продолжительность отопительного периода, с;
 $R_{до}^{des}$ – сопротивление теплопередаче конструкции до утепления, м²·°С/Вт;
 $c_{м.э.}$ – стоимость тепловой энергии, руб/Гкал;
 $c_{м.м.}$ – стоимость теплоизоляционного материала, руб/м³;
 c_m – стоимость монтажа, руб/м²;
 E_p – номинальная ставка дисконтирования, год⁻¹;
 t_{int} – температура внутреннего воздуха, °С;
 t_{ext}^{cp} – средняя температура воздуха за отопительный период, °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось для жилого здания типовой серии 1-447с со стенами из силикатного кирпича толщиной 0,5 м. Характеристики конструкции, а также климатические и экономические параметры, необходимые для расчета, представлены в таблице 1. Характеристики системы навесного вентилируемого фасада представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики исследуемого объекта

Параметр	Ед. изм.	Значение
Площадь изолируемой поверхности, A_{cm}	м ²	2 468,97
Толщина наружной стены, δ	м	0,5
Теплопроводность материала наружной стены слоя, λ	Вт/м·°С	0,7
Продолжительность отопительного периода, z_{ht}	с	15 811 200
Расчётная температура внутреннего воздуха, t_{int}	°С	20
Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, a_{int}	Вт/м ² ·°С	8,7
Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, a_{ext}	Вт/м ² ·°С	23
Средняя температура воздуха за отопительный период, t_{ext}^{cp}	°С	-0,6
Экономические параметры		
Номинальная ставка дисконтирования, E_n	год ⁻¹	0,1
Темп инфляции, a	год ⁻¹	0,06
Стоимость тепловой энергии, $c_{м.э.}$	руб/Гкал	1 534

Таблица 2 – Параметры системы навесного вентилируемого фасада

Параметр	Ед. изм.	Значение
Толщина теплоизоляционного слоя, δ_m	м	0,15
Теплопроводность теплоизоляционного слоя, λ_m	Вт/м·°С	0,056
Удельная стоимость теплоизоляционного материала, $c_{м.м.}$	руб/м ³	900
Толщина декоративного слоя, δ_d	м	0,03
Теплопроводность декоративного слоя, λ_d	Вт/м·°С	3,5
Толщина воздушной прослойки, $\delta_{пр}$	м	0,06
Удельная стоимость монтажных работ (с учётом декоративного слоя), c_m	руб/м ²	1 100
Срок службы, $T_{сл}$	лет	30

Как было сказано ранее теплопроводным включением в системах навесных фасадов с вентилируемой воздушной прослойкой является кронштейн с анкерным болтом, который служит для монтажа вертикальных и горизонтальных профилей. Анкерный болт выполнен из стали и имеет следующие параметры: диаметр \varnothing – 10 мм, длина l – 120 мм. Кронштейн П-образной формы выполнен из стали

и имеет следующие параметры: высота h – 210 мм (соответственно толщине теплоизоляционного слоя и толщине невяздушной прослойки), ширина b – 40 мм, толщина δ – 2 мм.

С помощью моделирования и расчета теплового потока на ЭВМ участка конструкции с теплопроводным включением были получены значения коэффициентов теплотехнической однородности для рассматриваемой ограждающей конструкции (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты однородности r (для кирпичной кладки с $\delta = 0,5$ м)

Кол-во кронштейнов на 1 м ²	Стальной кронштейн	Алюминиевый кронштейн
	210×40×2 мм с анкерным болтом 120×10 мм	210×40×2 мм с анкерным болтом 120×10 мм
2	0,93	0,9
3	0,89	0,85
4	0,86	0,81
5	0,83	0,78
6	0,79	0,74

На рис. 1 отображена зависимость коэффициента теплотехнической однородности от концентрации крепежных элементов на 1 м² ограждающей конструкции.

На рис. 2–4 отображены зависимости экономических параметров эффективности от степени однородности ограждающей конструкции, зависящей от концентрации крепежных элементов.

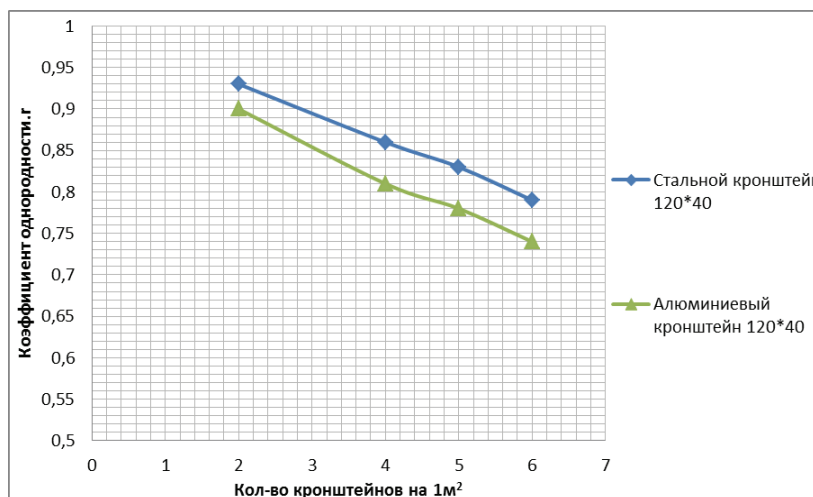


Рисунок 1 – Коэффициент однородности r .

ВЫВОДЫ

В результате исследования были получены данные, с помощью которых можно проанализировать зависимость эффективности ограждающих конструкций с навесным вентилируемым фасадом от характеристик и концентрации крепежных элементов. Как видно на рис. 1–4 увеличение концентрации крепежных элементов способствует ухудшению теплозащитных свойств ограждающей конструкции и снижению показателей эффективности на 5...25 %. Таким образом, существует необходимость детального проектирования навесного вентилируемого фасада с учетом указанного влияния, т. к. в обратном случае реальный экономический эффект от внедрения технологии может оказаться существенно ниже ожидаемого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин, В. Г. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах [Текст] / В. Г. Гагарин, К. А. Дмитриев // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 14–17.

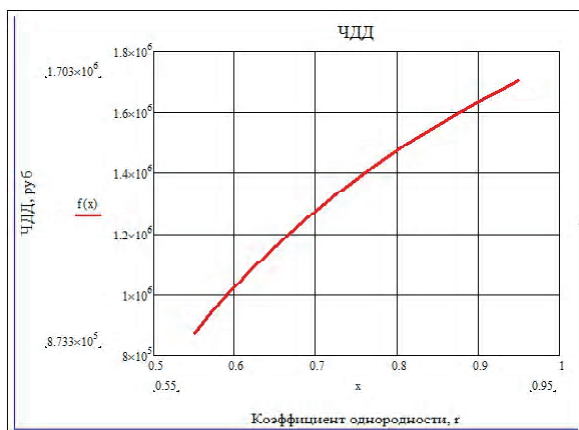


Рисунок 2 – Чистый дисконтированный доход.

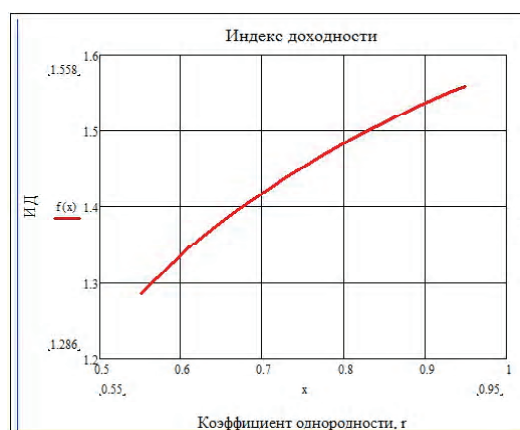


Рисунок 3 – Индекс доходности.

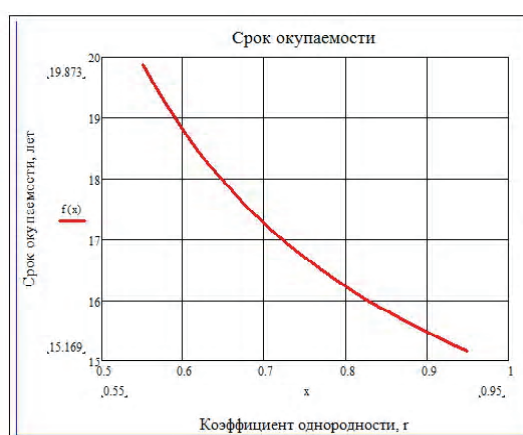


Рисунок 4 – Срок окупаемости.

2. Гагарин, В. Г. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором [Текст] / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, Е. Ю. Цыкановский // АВОК. – 2004. – № 2. – С. 20–26.
3. Овсянников, С. Н. Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями [Текст] / С. Н. Овсянников, Т. О. Вязова // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 24–28.
4. Протасевич, А. М. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики [Текст] / А. М. Протасевич, А. Б. Крутилин // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 8(26). – С. 57–62.
5. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) [Текст] : уч. для вузов / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1982. – 415 с., ил.
6. Туснина, О. А. Вычислительный комплекс TEP.L для теплотехнического расчета строительных конструкций на основе решения задачи стационарной трехмерной теплопроводности [Текст] / О. А. Туснина // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях : сборник докладов V Международной научно-практической конференции (26–28 июня 2013, г. Москва) / Мин-во обр-ия и науки РФ, Правительство Москвы, Нац. исслед. Московский гос. строит. ун-т, Всероссийский Выставочный Центр ; отв. за выпуск: Т. И. Квитка. – М. : Московский государственный строительный университет, 2013. – С. 154–157.
7. Езерский, В. А. Крепежный каркас вентилируемого фасада и температурное поле наружной стены [Текст] / В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2003. – № 10. – С. 15–18.
8. Туснина, О. А. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов [Текст] / О. А. Туснина, А. А. Емельянов, В. М. Туснина // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 8. – С. 54–88.
9. Белоус, А. Н. Техничко-экономическое обоснование системы фасадного утепления зданий серии ИИИ-04 [Текст] / А. Н. Белоус, Б. А. Новиков, О. Е. Белоус // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. – Том 13. – № 4. – С. 179–187.

10. Thermal analysis of a ventilated facade with PCM for cooling applications [Текст] / A. De Gracia, L. Navarro, A. Castell, A. Ruiz-Pardo, S. Alvarez, L. F. Cabeza // Energy Build. – 2013. – PP. 508–515
11. Domínguez, S. Towards energy demand reduction in social housing [Текст] / S. Domínguez, J. J. Sendra, A. L. León // Energies. – 2012. – № 5. – PP. 2263–2287.

Получено 10.01.2019

Д. В. КОПІЙКА
ТЕПЛОТЕХНІЧНА ОДНОРІДНІСТЬ НАВІСНИХ ФАСАДІВ З
ВЕНТИЛЬОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ ТА ЕКОНОМІЧНА
ЕФЕКТИВНІСТЬ
ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет»

Анотація. Навісний фасад з вентиляльованим повітряним прошарком – один з найбільш популярних та ефективних способів утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій. Однак монтаж навісного фасаду супроводжується використанням значної кількості кріпильних елементів, які являють собою теплопровідні вclusions, що погіршують теплові характеристики конструкцій. На ступінь однорідності впливають геометричні параметри та концентрація елементів на 1 м² конструкції. На сьогодні проведені дослідження, які дозволяють удосконалити методику теплотехнічного розрахунку навісних вентиляльованих фасадів та встановити ступінь впливу кріпильних елементів на теплотехнічну однорідність конструкції. Метою дослідження є визначення впливу кріпильних елементів на економічну ефективність навісних фасадів.

Ключові слова: вентиляльований фасад, коефіцієнт однорідності.

DENIS KOPEYKA
HEAT ENGINEERING UNIFORMITY OF VENTILATED FACADES AND
ECONOMIC EFFICIENCY
SEI of Higher Vocational Education «Donetsk National Technical University»

Abstract. Ventilated facade is one of the most popular and effective methods of heat insulation of building envelopes. But mounting of ventilated facade needs a large number of fixture elements that act like heat-conducting inclusions and impair the thermal parameters of the system. Geometrics and concentration of fixture elements influence on heat engineering uniformity of the construction. For today we have some studies, that give the ability to improve the method of heat engineering calculation of ventilated facade and determinate the influence of fixture elements on heat engineering uniformity. The main purpose of this study is the determination of fixture element's influence on the economic efficiency of ventilated facades.

Key words: ventilated facade, coefficient of heat engineering uniformity.

Копейка Денис Вадимович – аспірант кафедри промислової теплоенергетики ГОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Научні інтереси: ефективність використання теплоізоляційних матеріалів, енергосбереження в сфері утеплення огорожувальних конструкцій будівель.

Копійка Денис Вадимович – аспірант кафедри промислової теплоенергетики ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: ефективність використання теплоізоляційних матеріалів, енергосбереження у сфері утеплення огорожувальних конструкцій будівель.

Копейка Денис – post-graduate student, Industrial Heat Engineering Department, SEI of Higher Vocational Education «Donetsk National Technical University». Scientific interests: efficiency of using of heat insulation materials, energy saving in area of building envelope's heat insulation.