



ISSN 1993-3495 online

СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2019, ТОМ 15, НОМЕР 1, 13–21

УДК 699.86

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С НАВЕСНЫМ ФАСАДОМ С ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Д. В. Копейка

*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
58, ул. Артема, г. Донецк, ДНР, 83001.
E-mail: benj72008@rambler.ru*

Получена 14 февраля 2019; принята 22 марта 2019.

Аннотация. Повышенный интерес к энергосберегающим технологиям в строительстве обозначил необходимость детального анализа эффективности мероприятий по утеплению ограждающих конструкций зданий. Одним из наиболее распространенных и эффективных способов утепления ограждающих конструкций является навесной фасад с вентилируемой воздушной прослойкой. При монтаже вентилируемых фасадов используется большое количество крепежных элементов, которые являются теплопроводными включениями. В работе рассматривается вопрос о влиянии крепежных элементов навесного вентилируемого фасада на теплотехническую однородность всей ограждающей конструкции. С использованием современных программных комплексов было произведено моделирование участка конструкции с теплопроводным включением для определения тепловых потоков через эти участки. Было проанализировано влияние геометрических характеристик и материала крепежных элементов на величину коэффициента теплотехнической однородности ограждающей конструкции после монтажа навесного вентилируемого фасада.

Ключевые слова: вентилируемый фасад, коэффициент теплотехнической однородности, тепловой поток, кронштейн.

КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОТЕХНІЧНОЇ ОДНОРІДНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ З НАВІСНИМИ ФАСАДАМИ З ВЕНТИЛЬОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПРОШАРКОМ

Д. В. Копійка

*ДОНУ ВПО «Донецький національний технічний університет»,
58, вул. Артема, м. Донецьк, ДНР, 83001.
E-mail: benj72008@rambler.ru*

Отримана 14 лютого 2019; прийнята 22 березня 2019.

Анотація. Підвищений інтерес до енергозощадних технологій у будівництві позначив необхідність детального аналізу ефективності заходів з утеплення огороджувальних конструкцій будівель. Одним із найбільш поширених та ефективних методів утеплення огороджувальних конструкцій є навісний фасад з вентильованим прошарком. При монтуванні вентильованих фасадів застосовується велика кількість кріпильних елементів, які становлять собою теплопровідні включення. У роботі розглядається питання щодо впливу кріпильних елементів навісного вентильованого фасаду на теплотехнічну однорідність огороджувальної конструкції. З використанням сучасних програмних комплексів було проведено моделювання ділянки конструкції з теплопровідним включенням. Було проаналізовано вплив геометричних характеристик та матеріалу кріпильних елементів на величину коефіцієнта теплотехнічної однорідності огороджувальної конструкції після монтування навісного вентильованого фасаду.

Ключові слова: вентильований фасад, коефіцієнт теплотехнічної однорідності, тепловий потік, кронштейн.

COEFFICIENT OF THERMAL UNIFORMITY OF THE ENCLOSING STRUCTURE WITH A HINGED FACADE WITH A VENTILATED AIR LAYER

Denis Kopeyka

*Donetsk National Technical University,
58, Artema Str., Donetsk, DPR, 83001.
E-mail: benj72008@rambler.ru*

Received 14 February 2019; accepted 22 March 2018.

Abstract. Increased interest in energy-saving technologies in construction has indicated the need for a detailed analysis of the effectiveness of measures to insulate the building envelope. One of the most common and effective methods of insulation of enclosing structures is a hinged facade with a ventilated air layer. When installing ventilated facades, a large number of fasteners are used, which are heat-conducting inclusions. The paper deals with the influence of fasteners of the ventilated facade on the thermal uniformity of the entire enclosing structure. Using modern engineering software the modelling of part of building envelope with heat-conducting inclusion has been done. The influence of geometric and material of fixture elements on the coefficient of heat engineering uniformity of the building envelope after ventilated facade's mounting was analysed.

Keywords: ventilated facade, coefficient of heat engineering uniformity, heat flow, holder.

Актуальность

Считается, что навесной фасад с вентилируемой воздушной прослойкой является одним из самых эффективных современных способов утепления наружных стен зданий. Особенностью такой системы является наличие тонкой воздушной прослойки между теплоизоляционным и декоративным слоем конструкции (фасадная панель). Однако монтаж навесных вентилируемых фасадов сопряжен с использованием значительного количества крепежных элементов, которые представляют собой теплопроводные включения и могут негативно сказываться на теплотехнической однородности конструкции. В связи с этим возможно значительное ухудшение теплотехнической и экономической эффективности использования навесных вентилируемых фасадов.

Анализ последних исследований и публикаций

Влиянию крепежных элементов на теплотехническую однородность навесных вентилируемых фасадов посвящены работы А. М. Протасевича, А. Б. Крутилина [7], В. Г. Гагарина, В. В. Козлова [9–11], С. Н. Овсянникова, Т. О. Вязовой [3]. В этих работах рассматривается теплотехнические

основы расчетов параметров навесных вентилируемых фасадов с учетом влияния теплопроводных включений.

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

В работе [12] рассмотрены процессы переноса тепла в конструкциях с навесными фасадами.

Технико-экономическое обоснование применения фасадных конструкций при утеплении наружных стен зданий рассмотрено в работе [13].

В работах [2, 5] собраны и проанализированы свойства и характеристики различных теплоизоляционных материалов и технологий, которые используются при утеплении ограждающих конструкций зданий.

В работах [14, 15] отражены некоторые мировые тенденции в сфере энергосбережения в гражданском и общественном строительстве.

Целью работы является определение коэффициента теплотехнической однородности для крепежных элементов навесного фасада с вентилируемой воздушной прослойкой, а также его зависимость от материала, геометрических параметров и концентрации крепежных элементов.

Основной материал

Сопротивление теплопередаче конструкции с навесным вентилируемым фасадом определяется по формуле [1, 2, 4, 8]:

$$R_{\text{эф}} = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + (R_{\text{ст}} + R_{\text{ут}}) \cdot r + R_{\text{пр}} + R_{\text{д}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (1)$$

где $R_{\text{ст}}$ – сопротивление теплопередаче наружной стены здания, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{\text{ут}}$ – сопротивление теплопередаче слоя утеплителя, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{\text{пр}}$ – сопротивление теплопередаче воздушной прослойки, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{\text{д}}$ – сопротивление теплопередаче декоративного слоя, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

r – коэффициент теплотехнической однородности, обусловленный наличием теплопроводных включений.

Коэффициент теплотехнической однородности r отображает наличие в ограждающей конструкции участков со значительно большей теплопроводностью, чем вся конструкция, т. е. теплопроводных включений.

Коэффициент теплотехнической однородности определяют из отношения тепловых потоков [4, 8]:

$$r = \frac{Q_{\text{ст}}}{Q_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – тепловой поток через ограждающую конструкцию без теплопроводного включения, Вт;

$Q_{\text{пр}}$ – тепловой поток через ограждающую конструкцию с теплопроводным включением, Вт.

Для ограждающих конструкций с вентилируемыми навесными фасадами определяющими теплопроводными включениями являются кронштейны и анкерные болты. С помощью кронштейна несущий каркас соединяется с основанием, сам же кронштейн крепится к стене здания с помощью анкерного болта. Зная количество кронштейнов на единицу площади конструкции можно определить коэффициент теплотехнической однородности конструкции.

Для определения коэффициента теплотехнической однородности участка конструкции с навесным вентилируемым фасадом был использован программный пакет ANSYS.

Анкерный болт выполнен из стали и имеет следующие параметры: диаметр \varnothing – 10 мм, длина

120 мм. Кронштейн П-образной формы выполнен из стали и имеет следующие параметры: высота h – 210 мм (соответственно толщине теплоизоляционного слоя и толщине воздушной прослойки), ширина b – 40 мм, толщина δ – 2 мм. При монтаже конструкции в рассматриваемой системе кронштейны располагаются с шагом 600×900 мм. Другими словами, на 1 м^2 конструкции приходится $1,85 \approx 2$ кронштейна.

Ограждающая конструкция представляет собой кладку из силикатного кирпича, толщиной 0,5 м.

Первым шагом при определении коэффициента теплотехнической однородности участка конструкции с кронштейном и анкерным болтом является построение геометрической модели в среде ANSYS. Строится участок наружной ограждающей конструкции 600×900×500 мм. Далее происходит построение геометрической модели несущего кронштейна с анкерным болтом, который заглубляется в несущую конструкцию на расстояние 105 мм. В дальнейшем строится слой теплоизоляционного материала соответствующей толщины. Этапы построения модели отображены на рисунках 1–5.

В таблице 1 представлены результаты исследования участка ограждающей конструкции с кронштейном и анкерным болтом и коэффициент теплотехнической однородности r .

Таким образом, для текущего расчета с установленными параметрами системы навесного вентилируемого фасада – толщиной теплоизоляционного слоя и слоя воздушной прослойки, размерами и шагом расположения крепежных элементов – коэффициент теплотехнической однородности r равен 0,93.

В системах навесных вентилируемых фасадов используются как кронштейны, изготовленные из стали, так и кронштейны, изготовленные из алюминия, который имеет большую по сравнению со сталью теплопроводность (200 $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$). Значение коэффициента теплотехнической однородности для кронштейна, выполненного из алюминия, представлено в таблице 2.

С помощью разработанной модели были рассчитаны коэффициенты теплотехнической однородности для различной концентрации крепежных элементов (таблица 3).

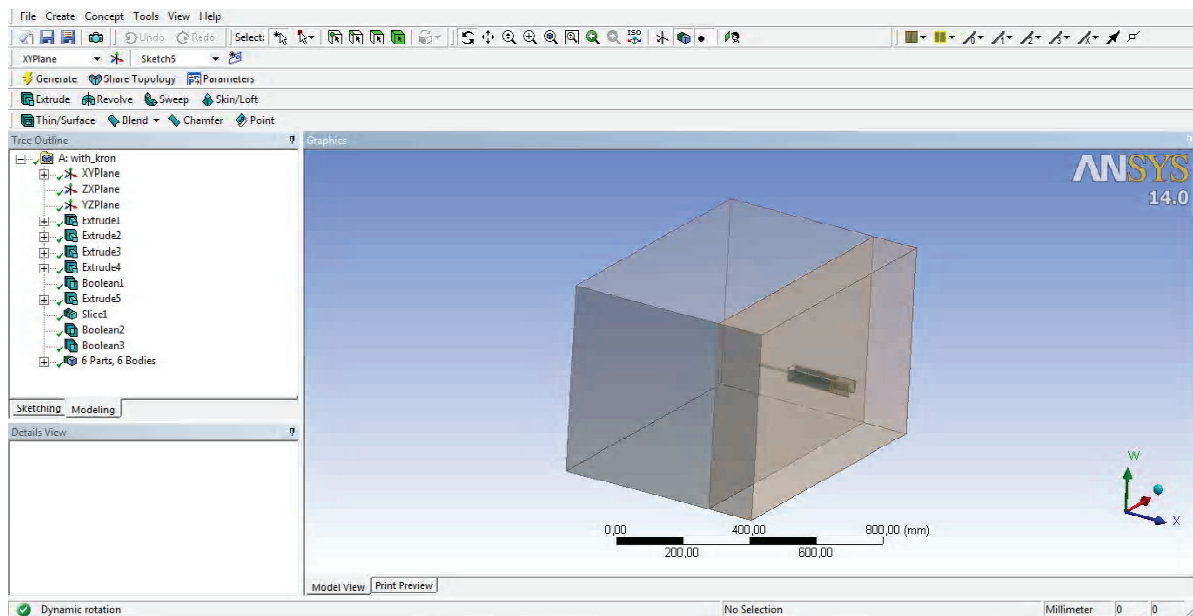


Рисунок 1. Геометрическая модель участка конструкции с кронштейном.

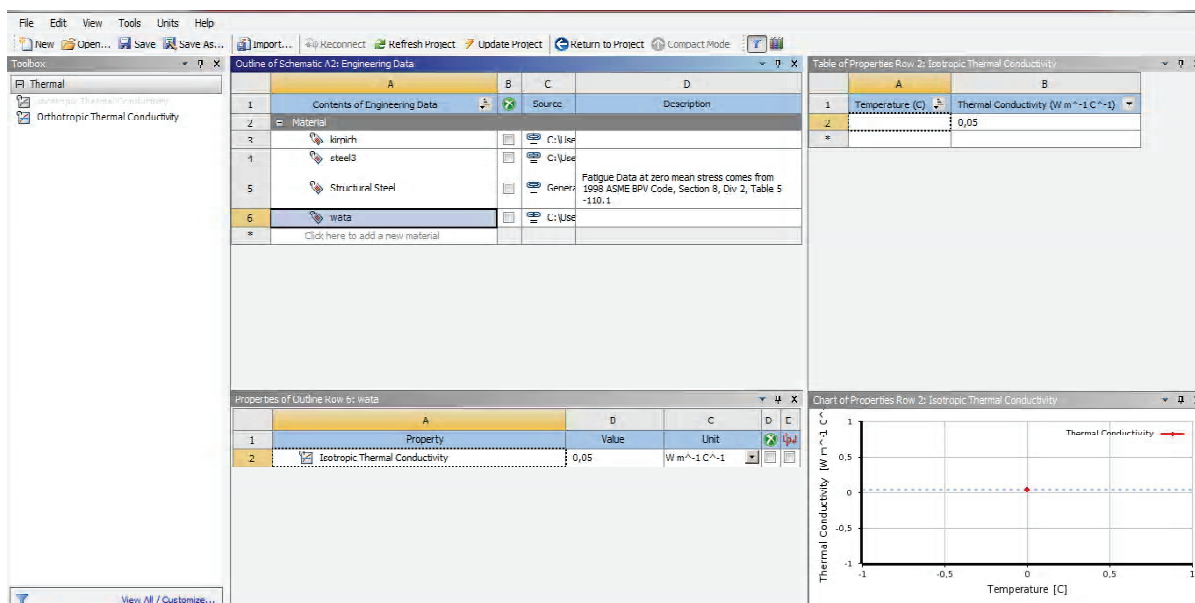


Рисунок 2. Задание теплотехнических характеристик элементов модели.

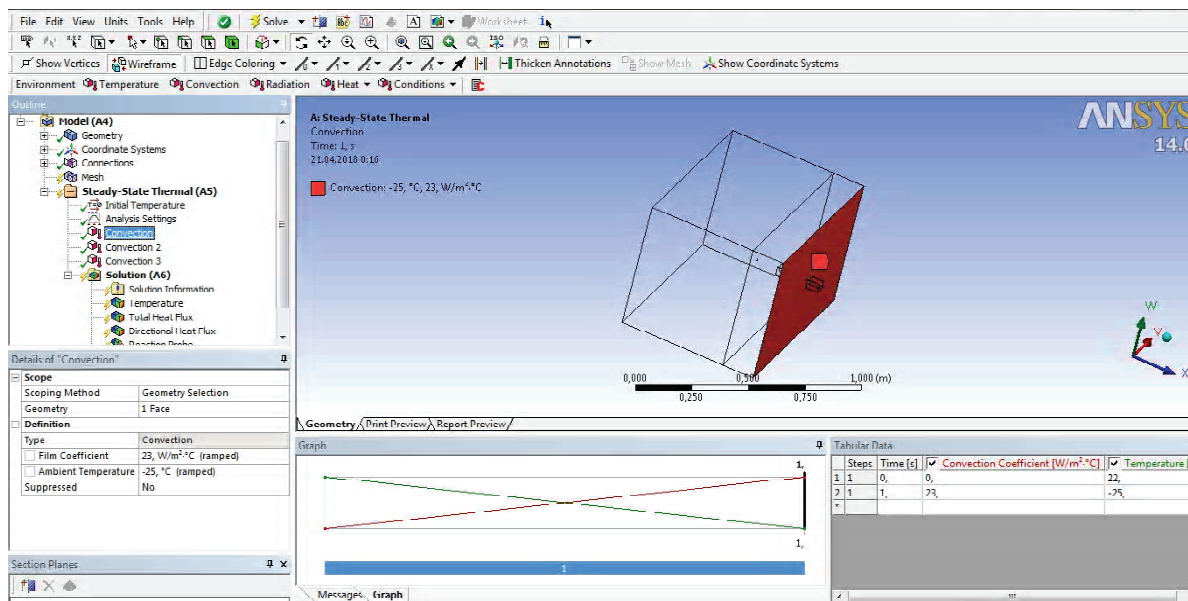


Рисунок 3. Задание граничных условий.

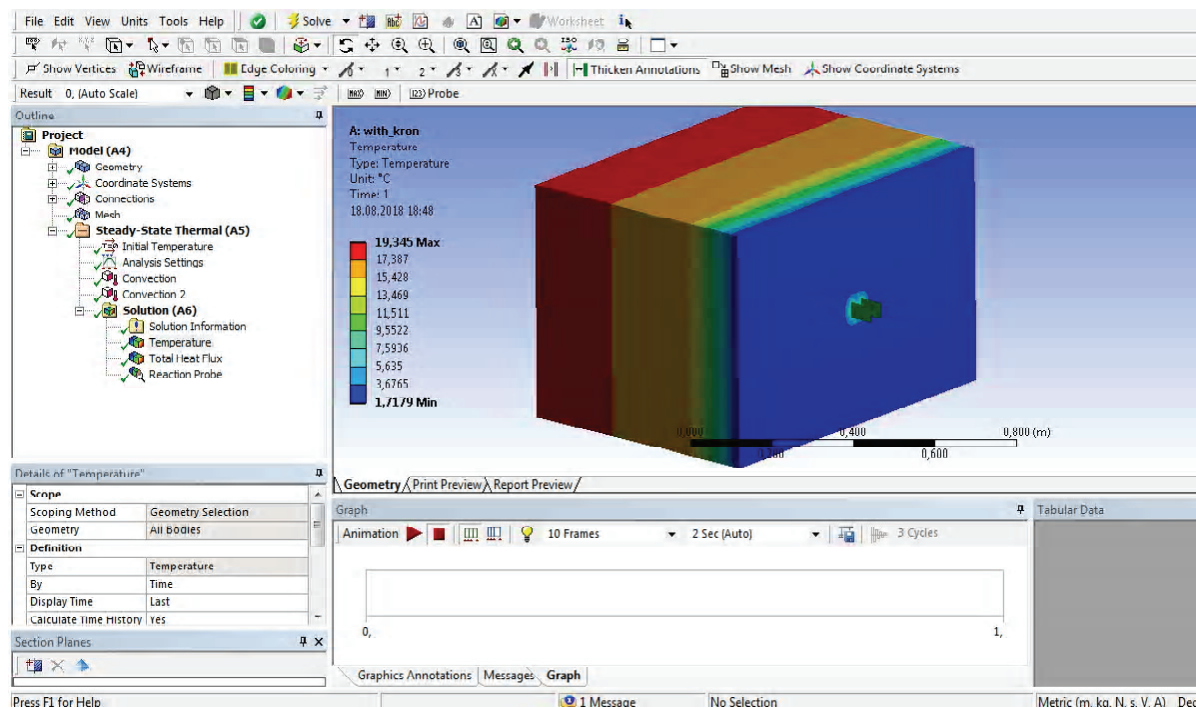


Рисунок 4. Распределение температур в участке конструкции.

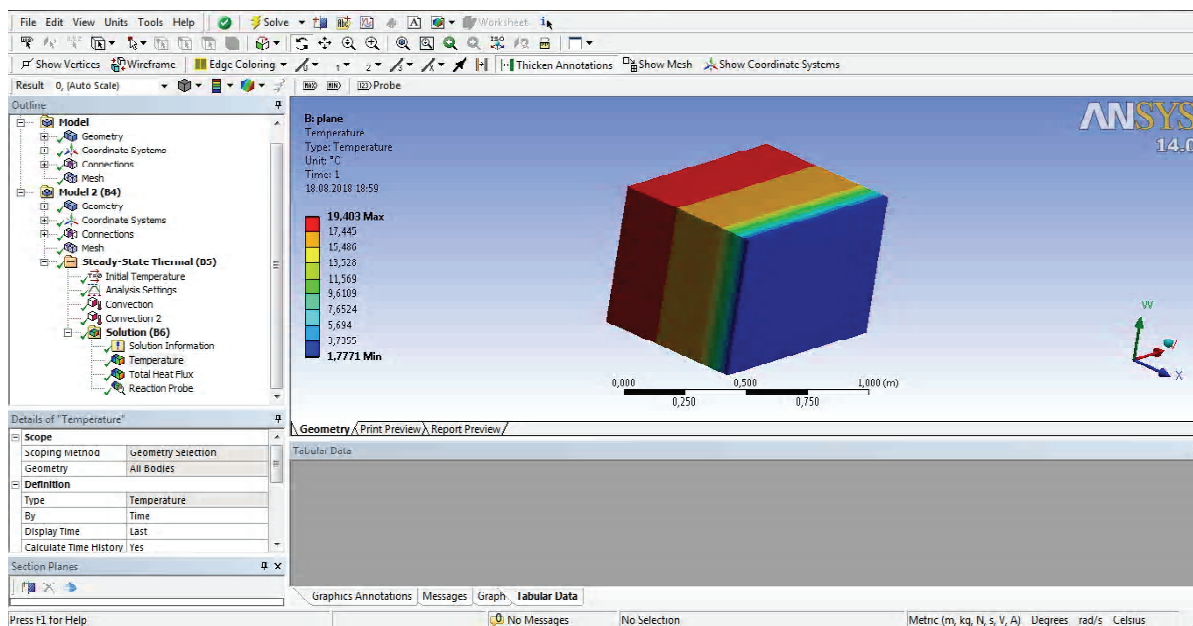


Рисунок 5. Распределение температур участка конструкции без кронштейна.

Таблица 1. Результаты расчета

Параметр	Ед. изм.	Значение
Тепловой поток через участок с кронштейном, $Q_{кр}$	Вт	3,0178
Тепловой поток через участок без кронштейна, $Q_{ст}$	Вт	2,8043
Коэффициент теплотехнической однородности, r		0,93

Таблица 2. Результаты расчета для кронштейна из алюминия

Параметр	Ед. изм.	Значение
Тепловой поток через участок с кронштейном, $Q_{кр}$	Вт	3,1079
Тепловой поток через участок без кронштейна, $Q_{ст}$	Вт	2,8043
Коэффициент теплотехнической однородности, r		0,9

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 рисунке 6 отображена зависимость коэффициента теплотехнической однородности от концентрации крепежных элементов на 1 м^2 ограждающей конструкции.

Выводы

В рассматриваемой конструкции при увеличении концентрации крепежных элементов с 2 до 6 коэффициент теплотехнической однородности снижается до 0,79 для стальных кронштейнов и до 0,74 для алюминиевых. Очевидно, что снижение коэффициента теплотехнической однородности

приведет к снижению сопротивления теплопередаче рассматриваемой конструкции, а следовательно, и к снижению теплотехнической и экономической эффективности мероприятия в целом. Таким образом, при проектировании мероприятий по утеплению ограждающих конструкций с использованием навесных вентилируемых фасадов необходимо максимально сокращать количество используемых крепежных элементов и отдавать предпочтение стальным кронштейнам для достижения максимальной эффективности от использования таких технологий.

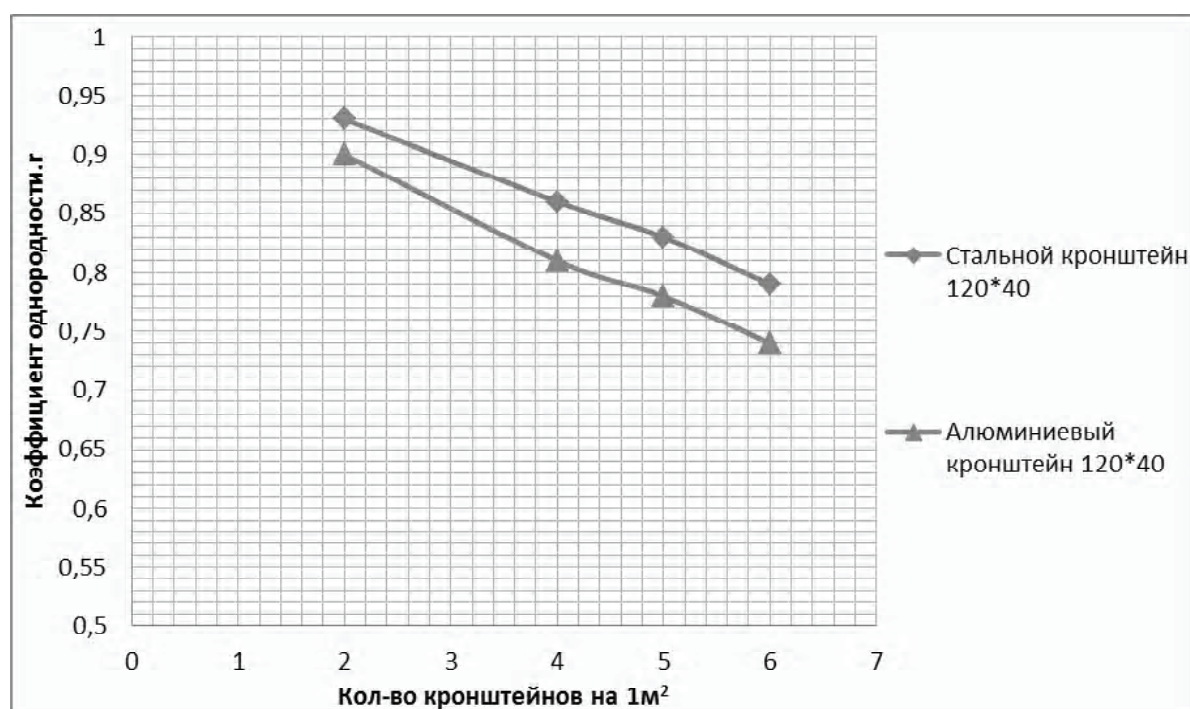


Рисунок 6. Коэффициент однородности.

Литература

1. Гридин, С. В. Тепловая защита зданий : методические указания для самостоятельной работы студентов к курсовой работе [Текст] // С. В. Гридин. – Донецк : ДонНТУ. 2013. – 38 с.
2. Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник для средних профессионально-технических учебных заведений [Текст] / Ю. Л. Бобров, Е. Г. Овчаренко, Б. М. Шойхет [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
3. Воробьев, В. А. Полимерные теплоизоляционные материалы [Текст] / В. А. Воробьев, Р. А. Адрианов. – М. : Стройиздат, 1972. – 320 с.

Reference

1. Gridin, S. V. Thermal Protection of Buildings : Guidelines for the Independent Work of Students for Course work [Text] // S. V. Gridin. – Donetsk : DonNTU. 2013. – 38 p. (in Russian)
2. Thermal insulation materials and structures : textbook for secondary vocational schools [Text] / Y. L. Bobrov, E. G. Ovcharenko, B. M. Shoikhet [and others]. – M. : INFRA-M, 2003. – 268 p. (in Russian)
3. Vorobiev, V. A. Polymer heat insulating materials [Text] / V. A. Vorobiev, R. A. Adrianov. – M. : Stroyizdat, 1972. – 320 p. (in Russian)

4. Хоменко, В. П. Справочник по теплозащите зданий [Текст] / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк. – К. : Будівельник, 1986. – 216 с.
5. 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.
6. Туснина, О. А. Вычислительный комплекс ТЕПЛ 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. – 696 с.
7. 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.
8. 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.
9. Гагарин, В. Г. Теплозащита фасадов с вентилируемым воздушным зазором [Текст] / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, Е. Ю. Цыкановский // АВОВ. 2004. № 2. С. 20–26.
10. Гагарин, В. Г. О некоторых теплотехнических ошибках, допускаемых при проектировании вентилируемых фасадов [Текст] / В. Г. Гагарин // АВОВ. 2005. № 2. С. 52–58.
11. 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.
12. 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.
13. Белоус, А. Н. Техничко-экономическое обоснование системы фасадного утепления зданий серии ИИ-04 [Текст] / А. Н. Белоус, Б. А. Новиков, О. Е. Белоус // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. Том 13, № 4. С. 179–187.
14. Thermal analysis of a ventilated facade with PCM for cooling applications [Текст] / De Gracia A., Homenko, V. P. Manual for thermal protection of buildings [Text] / V. P. Homenko, G. G. Farenuk. – K. : Budivelnik, 1986. – 216 p. (in Russian)
5. Ovsiannikov, S. N. Thermal protection parameters of exterior wall's constructions with heat conduction inclusion [Text] / S. N. Ovsiannikov, T. O. Viasova // In: *Construction materials*. 2013. № 6. P. 24–28. (in Russian)
6. Tusnina, O. A. Computer system TEPL for heat engineering estimate of building structures based on solution of stationary three-dimensional heat transfer problem [Text] / O. A. Tusnina // Scientific and technical creativity of young people – the path to a society based on knowledge: a collection of reports of the V International Scientific Practical Conference (June 26–28, 2013, Moscow) / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Government of Moscow, Nat. researches Moscow State builds University, All-Russian Exhibition Center; rep. for the issue: T. I. Kvitka. – M. : Moscow State University of Civil Engineering, 2013. – P. 154–157. – 696 p. (in Russian)
7. Protasievich, A. M. Classification of ventilated facade systems. Influence of heat conduction inclusions on thermal protection parameters [Text] / A. M. Protasievich, A. B. Krutinin // In: *Construction engineering journal*. 2011. № 8(26). P. 57–62. (in Russian)
8. Bogoslovsky, V. N. Thermal physics in buildings (thermal physics fundamentals of heating, ventilation and air-conditioning) : Manual for university. – 2nd edition, edited and sup [Text] / V. N. Bogoslovsky. – M. : High school., 1982. – 415 p. (in Russian)
9. Gagarin, V. G. Thermal protection of ventilated facades [Text] / V. G. Gagarin, V. V. Kozlov, E. U. Cikanovsky // In: *AVOK*. 2004. № 2. P. 20–26. (in Russian)
10. Gagarin, V. G. About some heat engineering mistakes in ventilated facade's designing [Text] / V. G. Gagarin // In: *AVOK*. 2004. № 2. P. 52–58. (in Russian)
11. Gagarin, V. G. Account of thermal heterogeneities in the assessment of thermal protection of walling in Russia and European countries [Text] / V. G. Gagarin, K. A. Dmitriev // In: *Construction materials*. 2013. № 6. P. 14–17. (in Russian)
12. Ezerskiy, V. A. The fixture frame of ventilates facade and the temperature field of outdoor wall [Text] / V. A. Ezerskiy, P. V. Monastirsky // In: *Residential buildings construction*. 2003, № 10. P. 15–18. (in Russian)
13. Belous, A. N. Technical and economic basis of facade's systems of building insulation of II-04 series [Text] / A. N. Belous, B. A. Novikov, O. E. Belous // In: *Modern industrial and civil construction*. 2017. Vol. 13, № 4. P. 179–187. (in Russian)
14. Thermal analysis of a ventilated facade with PCM for cooling applications [Text] / De Gracia A.,

- Navarro L., Castell A, Ruiz-Pardo A., Alvarez S., Cabeza L. F. // *Energy Build.* 2013. P. 508–515.
15. Dominguez, S. Towards energy demand reduction in social housing [Текст] / S. Dominguez, J. J. Sendra, A. L. Leon // *Energies*. 2012. № 5. P. 2263–2287.
- Navarro L., Castell A, Ruiz-Pardo A., Alvarez S., Cabeza L. F. // In: *Energy Build.* 2013. P. 508–515.
15. Dominguez, S. Towards energy demand reduction in social housing [Text] / S. Dominguez, J. J. Sendra, A. L. Leon // In: *Energies*. 2012. № 5. P. 2263–2287.

Копейка Денис Вадимович – аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Научные интересы: эффективность использования теплоизоляционных материалов, энергосбережение в сфере утепления ограждающих конструкций зданий.

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

Kopeyka Denis – postgraduate student of industrial heat engineering department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: efficiency of using of heat insulation materials, energy saving in area of building envelope's heat insulation.