

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.0(045)

Исследование эффективности практического применения теплотехнических характеристик изделий из стеклопластика в строительной отрасли

А.Г. Ковригин¹, А.Н. Блазнов^{2,3}

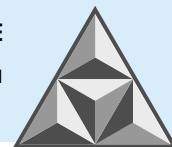
Антон Георгиевич Ковригин

¹ООО «Бийский завод стеклопластиков», Бийск, Алтайский край, Российская Федерация
anton.kovrigin@bzs.ru

Алексей Николаевич Блазнов

²ФГБУН «Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН)», Бийск, Алтайский край, Российская Федерация

³Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Алтайский край, Российская Федерация
blaznov74@mail.ru

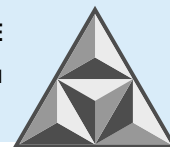


Определены теплотехнические характеристики фасадной системы с использованием крепежных элементов на основе стеклопластика. Проведен анализ эффективности технического решения на основе стеклопластика в сравнении с аналогами на основе металла. Представлены теоретические данные расчета и графики тепловых полей, рассчитаны тепловые потери через точечные и линейные теплотехнические неоднородности. В отличие от стального распорного элемента с коэффициентом теплотехнической однородности до 0.82, такой расчетный коэффициент для стеклопластикового элемента (0.99) близок к 1.0. Показана эффективность использования стеклопластиковых крепежных элементов в фасадных строительных конструкциях; при их использовании толщина теплоизоляции составляет 130 мм, тогда как при использовании стальных элементов – 160 мм.

Ключевые слова: стеклопластик, намотка, теплотехническая неоднородность, сопротивление теплопередаче, «мостик холода», изотерма

Для цитирования:

Ковригин А.Г., Блазнов А.Н. Исследование эффективности практического применения теплотехнических характеристик изделий из стеклопластика в строительной отрасли // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 3. С. 18-28.
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Practical application efficiency of thermal performance of GFRP items in construction industry

A.G. Kovrigin¹, A.N. Blaznov^{2,3}

Anton G. Kovrigin

¹Biysk Factory of Glass Fiber-Reinforced Plastics, LLC, Biysk, Russia

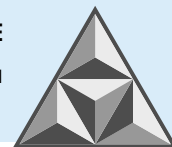
anton.kovrigin@bzs.ru

Aleksey N. Blaznov

²Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk, Russia

³Biysk Technological Institute (branch), Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, Biysk, Russia

blaznov74@mail.ru

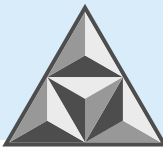


The article concerns with the assessment of the thermal performance of a facade system using fastening elements made of glass fiber-reinforced plastic (GFRP). The article analyses the efficiency of the technical solution based on fibreglass plastic in comparison with its metal-based counterparts. We present theoretical calculation data and graphs of thermal fields, calculate heat losses through point and linear thermotechnical inhomogeneities. As opposed to a steel spacer assembly with a coefficient of thermal homogeneity up to 0.82, such a design coefficient for a fibreglass element (0.99) is close to 1.0. Herein, the GFRP fastening elements demonstrated practical efficiency when used in real modern facade building structures: the thermal insulation thickness for GFRP was 130 mm, while that for the steel elements was 160 mm when applied in the facade fixing system.

Key words: glass fiber-reinforced plastic, filament winding, thermal heterogeneity, heat transfer resistance, thermal bridge, isotherm

For citation:

Kovrigin, A.G. & Blaznov, A.N. (2023) Practical application efficiency of thermal performance of GFRP items in construction industry, *Smart Composite in Construction*, 4(3), pp. 18-28 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023



ВВЕДЕНИЕ

К современным фасадным системам предъявляются жесткие требования по тепловой защите зданий [1]. Согласно строительным нормам, ключевыми характеристиками фасадных систем являются показатели сопротивления теплопередаче, включающие теплотехническую эффективность материалов ограждающей конструкции с учетом влияния точечных и линейных неоднородностей. Широко распространены системы утепления и облицовки фасадов, называемые как «система фасадная теплоизоляционная композитная» (СФТК, или штукатурный фасад) и «навесной вентилируемый фасад» (НВФ) [2, 3]. Обязательными элементами таких фасадных систем являются теплоизоляция (например, из минеральной ваты), крепеж теплоизоляции (тарельчатые анкеры [4]), кронштейны для крепления подсистем и последующей облицовки декоративными материалами (для НВФ). Эффективность работы системы утепления определяется свойствами теплоизоляции – теплопроводностью и толщиной, а также теплопроводными свойствами тарельчатых анкеров и кронштейнов, которые проходят сквозь теплоизоляцию и создают неоднородности в системе, образуя так называемые «мостики холода» [5].

С точки зрения долговечности и прочности закрепления, наиболее надежными являются тарельчатые анкеры с металлическим или стеклопластиковым распорным элементом. Металлический распорный элемент производят из металлической проволоки диаметром 4,8-5,5 мм с последующей оцинковкой (для защиты от коррозии). Стеклопластиковые распорные элементы производят по технологии намотки [6] из Е-стекла, связующего ЭДИ на основе эпоксидной смолы ЭД-22, отвердителя ИМТГФА и ускорителя полимеризации УП-606/2 [7, 8]. Распорный элемент (стальной или стеклопластиковый) устанавливается в полимерную гильзу из литевой пластмассы (полиэтилена).

Конструкции двухсоставного и трехсоставного тарельчатого анкера с распорным элементом из стеклопластика [8] приведены на рис. 1.

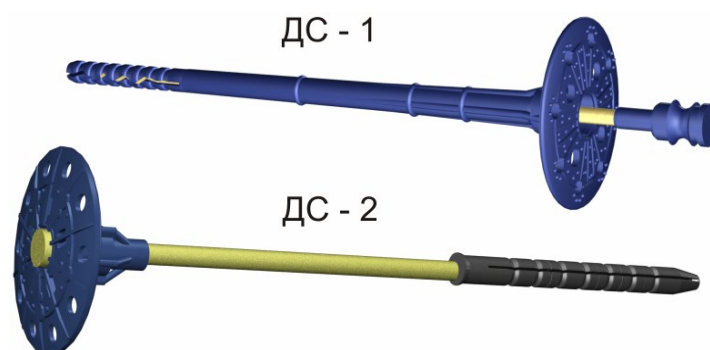
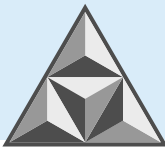


Рис. 1. Конструкция тарельчатого анкера двухсоставного (ДС-1) и трехсоставного (ДС-2) с распорным элементом из стеклопластика

Fig. 1. The design of the two-part disc anchor (DS-1) and three-piece (DS-2) with spacer assembly made of fiberglass

Целью настоящего исследования является расчет теплотехнических характеристик фасадной системы с применением крепежных элементов из стеклопластика и оценка эффективности их использования при осуществлении работ в строительной области по сравнению с металлическими крепежными элементами.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для оценки влияния теплопроводных включений на теплоэффективность системы в качестве частного случая выбрана система СФТК с тонким штукатурным слоем. Для расчетов принята типовая конструкция утепления наружной стены фасада здания [9], состоящая из кладки полнотелого глиняного кирпича толщиной 250 мм, теплоизоляционной плиты ROCKWOOL типа “ФАСАД БАТТС” толщиной 50–200 мм с шагом 50 мм, которая закреплена на кирпичной стене с помощью тарельчатых анкеров в количестве от 8 до 14 шт. на 1 м², и облицовочного слоя акриловой штукатурки толщиной 6 мм, армированной стеклосеткой. Коэффициенты теплопроводности для материалов приняты из литературы и составляют, Вт·м⁻¹·°С⁻¹: для кирпичной кладки – 0.7; теплоизоляционных плит ROCKWOOL – 0.04; акриловой штукатурки – 0.5; стеклопластика – 0.48; полиамида – 0.28; стали – 58. В рассматриваемой системе тарельчатый анкер является точечной теплотехнической неоднородностью.

Расчеты проведены для жилого здания, эксплуатируемого в климатических условиях г. Новосибирска. Температуру воздуха внутри помещения (согласно ГОСТ 30494-2011) приняли $t_b = 21^\circ\text{C}$, влажность – 55%, температуру воздуха снаружи $t_n = -37^\circ\text{C}$, что соответствует наиболее холодной пятидневке для условий г. Новосибирска, согласно СП 131.13330.2018.

Теплотехнические расчеты выполнены Институтом теплофизики СО РАН (г. Новосибирск) [10] с применением специализированной программы, предназначенной для проведения трехмерных теплотехнических расчетов элементов строительных конструкций и позволяющей решать задачи теплообмена численным методом конечных разностей. Расчетная область разбивалась на 2×10^6 ячеек, что является достаточной детализацией для оценки теплоэффективности исследуемых изделий. Повышение точности расчетов достигалось путем использования сетки с переменным шагом.

Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитывали:

$$R = \Delta t / q, \quad (1)$$

где $\Delta t = t_b - t_n$;

q – плотность теплового потока на внутренней поверхности.

Коэффициент теплотехнической однородности определяли по выражению:

$$r = R/R_0, \quad (2)$$

где R_0 – сопротивление теплопередаче фасада при отсутствии тарельчатых анкеров.

Величину χ определяли в соответствии с ГОСТ Р 56733-2015 [11]:

$$\chi = \Delta Q^K / (t_b - t_n), \quad (3)$$

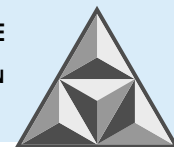
где $\Delta Q^K = Q_d - Q_{бд}$;

Q_d – потери тепла расчетного участка с тарельчатым анкером;

$Q_{бд}$ – потери тепла этого же расчетного участка без учета влияния тарельчатых анкеров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов теплотехнических расчетов системы СФТК с применением стеклопластикового распорного элемента тарельчатого анкера в сравнении с применением распорного элемента из оцинкованной стали (табл. 1) показывает, что дополнительные



тепловые потери для различных толщин утеплителя (от 50 до 200 мм) снижаются с $2.59 \cdot 10^{-4}$ до $0.99 \cdot 10^{-4}$ Вт \cdot °С $^{-1}$.

Таблица 1. Результаты сравнительных теплотехнических расчетов с анкерами на основе стеклопластикового распорного элемента (числитель) и распорного элемента из оцинкованной стали (знаменатель)

Table 1. The results of comparative thermal engineering calculations with anchors based on a fiberglass spacer assembly (in the numerator) and a spacer assembly made of galvanized steel (in the denominator)

| s, мм | n, шт. на 1 м ² | t _{вн} , °С | R, °С·м ² ·Вт ⁻¹ | r | χ×10 ⁴ , Вт·°С ⁻¹ |
|-------|----------------------------|----------------------|--|-------------|---|
| 50 | 14 | 17.22/16.97 | 1.766/1.656 | 0.994/0.932 | 2.60/2.94 |
| | 12 | 17.23/17.01 | 1.767/1.672 | 0.994/0.941 | 2.59/2.93 |
| | 10 | 17.23/17.05 | 1.769/1.691 | 0.995/0.952 | 2.59/2.85 |
| | 8 | 17.23/17.08 | 1.771/1.706 | 0.996/0.960 | 2.57/2.94 |
| | 0 | 17.25/17.25 | 1.777/1.777 | 1/1 | - |
| | Среднее значение | | | | |
| 100 | 14 | 18.78/18.39 | 3.005/2.655 | 0.993/0.877 | 1.76/3.31 |
| | 12 | 18.78/18.44 | 3.009/2.701 | 0.994/0.892 | 1.74/3.32 |
| | 10 | 18.79/18.48 | 3.012/2.751 | 0.995/0.909 | 1.74/3.33 |
| | 8 | 18.79/18.52 | 3.015/2.802 | 0.996/0.926 | 1.73/3.33 |
| | 0 | 18.80/18.72 | 3.027/3.027 | 1/1 | - |
| | Среднее значение | | | | |
| 150 | 14 | 19.43/19.07 | 4.245/3.600 | 0.993/0.842 | 1.32/3.14 |
| | 12 | 19.43/19.11 | 4.249/3.681 | 0.994/0.861 | 1.29/3.15 |
| | 10 | 19.43/19.16 | 4.254/3.768 | 0.995/0.881 | 1.28/3.15 |
| | 8 | 19.43/19.20 | 4.259/3.859 | 0.996/0.903 | 1.28/3.16 |
| | 0 | 19.44/19.44 | 4.277/4.246 | 1/1 | - |
| | Среднее значение | | | | |
| 200 | 14 | 19.78/19.46 | 5.484/4.522 | 0.992/0.818 | 1.00/2.87 |
| | 12 | 19.79/19.49 | 5.489/4.640 | 0.993/0.840 | 0.99/2.88 |
| | 10 | 19.79/19.53 | 5.497/4.766 | 0.995/0.863 | 0.98/2.88 |
| | 8 | 19.79/19.58 | 5.502/4.900 | 0.996/0.887 | 0.97/2.89 |
| | 0 | 19.79/19.75 | 5.526/5.526 | 1/1 | - |
| | Среднее значение | | | | |

Примечание: s – толщина утеплителя; n – плотность расположения тарельчатых анкеров; t_{вн} – наиболее низкая температура внутренней поверхности; R – приведенное сопротивление теплопередаче; r – коэффициент теплотехнической однородности; χ – дополнительные удельные потери тепла через точечную теплотехническую неоднородность.

Согласно результатам расчетов, на температуру внутренней поверхности фасада и его приведенное сопротивление теплопередаче существенное влияние оказывает плотность расположения анкеров. При этом расчетный коэффициент теплотехнической однородности фасада при использовании анкеров со стальным распорным элементом снижается до 0.82, что является показателем существенных тепловых потерь.

На рис. 2 наблюдается зависимость коэффициентов теплотехнической однородности для фасадной системы СФТК со стеклопластиковыми распорными элементами от толщины применяемой теплоизоляции и плотности расположения тарельчатых анкеров. Эта зависимость носит линейный характер (аналогично – и для стальных распорных элементов).

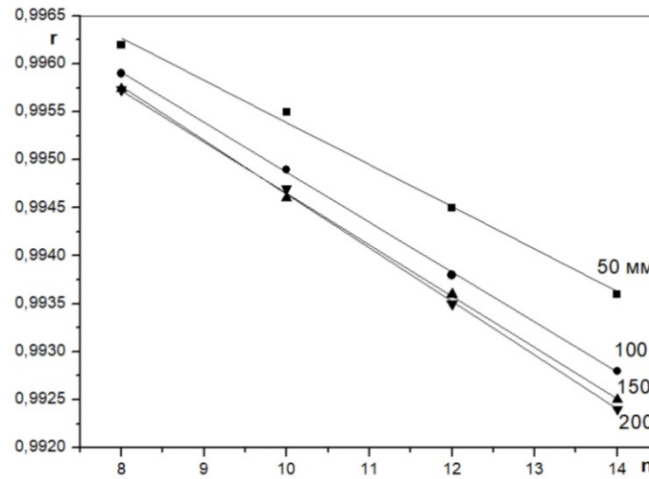
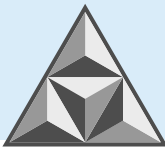


Рис. 2. Коэффициенты теплотехнической однородности для фасада со стеклопластиковыми распорными элементами
Fig. 2. Thermal homogeneity coefficients for facade with GRP spacer assemblies

Наглядным представлением расчетов являются изотермы (рис. 3).

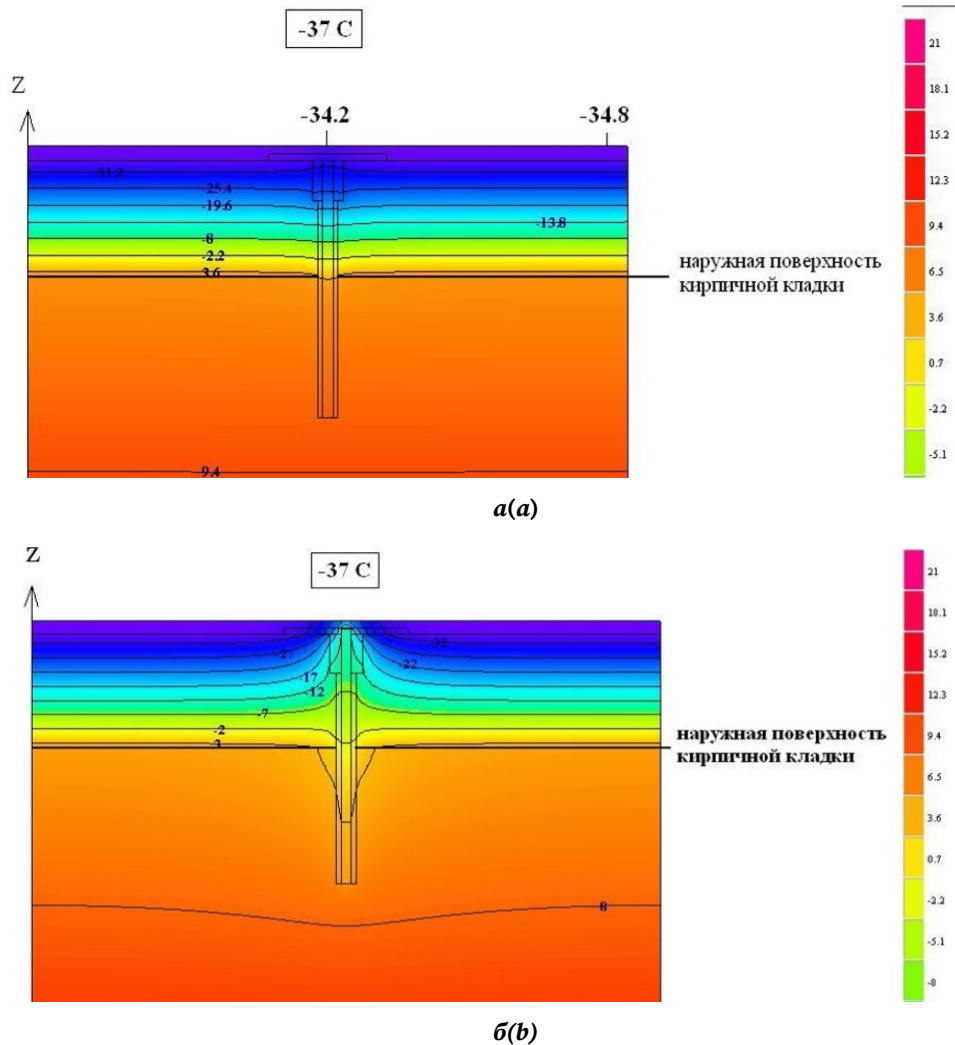
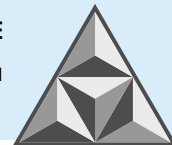


Рис. 3. Изотермическое представление возмущения тепловых полей в области точечной неоднородности в виде тарельчатого анкера с распорным элементом из стеклопластика (а) и оцинкованной стали (б)
Fig. 3. Isothermal representation of perturbation of thermal fields in the region of point inhomogeneity in the form of a disk anchor with a spacer assemblies made of fiberglass (а) and galvanized steel (б)



Видно, что анкер вносит тепловое возмущение в систему. Однако потери тепла через низкотеплопроводный стеклопластиковый распорный элемент невелики; наблюдаемое искажение изотерм незначительно (см. рис. 3а) в сравнении со стальным распорным элементом (существенное искажение тепловых полей, см. рис. 3б).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На практике полученные данные используют для расчета минимальной необходимой и достаточной толщины теплоизоляции конструктивных элементов для обеспечения требований по тепловой защите зданий. Так, определена необходимая толщина утеплителя (s) для выполнения требований строительных норм на примере жилого здания в г. Новосибирске. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» и СП 131.13330.2018 СНИП 23-01-99 «Строительная климатология», сопротивления теплопередаче для стен жилых зданий в указанном городе составляет $R = 3.66 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2\cdot\text{Вт}^{-1}$.

Для расчета толщины теплоизоляции при использовании стеклопластикового распорного элемента предложено эмпирическое выражение (4):

$$s = a + b \cdot R, \quad (4)$$

где a , b – эмпирические коэффициенты (см. табл. 2).

Таблица 2. Эмпирические коэффициенты и толщины теплоизоляции для системы с тарельчатыми анкерами и стеклопластиковыми распорными элементами

Table 2. Empirical coefficients and thermal insulation thicknesses for a system with disk anchors with GRP spacers

| n , шт. на 1 м^2 | a | b | s , мм, при $R = 3.66 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2\cdot\text{Вт}^{-1}$ |
|------------------------------|---------|--------|--|
| 14 | -21.235 | 40.336 | 126.4 |
| 12 | -21.226 | 40.296 | 126.3 |
| 10 | -21.196 | 40.244 | 126.1 |
| 8 | -21.175 | 40.195 | 125.9 |
| 0 | -21.107 | 40.013 | 125.3 |

Для расчета толщины теплоизоляции при использовании стального распорного элемента предложено эмпирическое выражение (5):

$$s = a_1 + a_2 \cdot R + a_3 \cdot R^2, \quad (5)$$

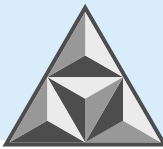
где a_1 , a_2 , a_3 – эмпирические коэффициенты (см. табл. 3)

Таблица 3. Значения эмпирических коэффициентов и толщины теплоизоляции для системы с тарельчатыми анкерами с распорными элементами из оцинкованной стали

Table 3. Values of empirical coefficients and thermal insulation thicknesses for a system with disc anchors with galvanized steel expansion elements

| n , шт. на 1 м^2 | a_1 | a_2 | a_3 | s , мм, при $R = 3.66 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2\cdot\text{Вт}^{-1}$ |
|------------------------------|---------|--------|-------|--|
| 14 | -28.522 | 45.544 | 1.107 | 153.0 |
| 12 | -27.598 | 44.861 | 0.906 | 148.7 |
| 10 | -26.780 | 44.156 | 0.721 | 144.5 |
| 8 | -25.445 | 43.222 | 0.571 | 140.4 |
| 0 | -21.107 | 40.013 | 0 | 125.3 |

В строительной практике толщина теплоизоляции, полученная при расчетах, округляется до 10 мм в большую сторону. Таким образом, для расчетного случая с плотностью расположения тарельчатых анкеров 14 шт. на 1 м^2 при использовании распорного элемента



из стеклопластика необходимо использовать теплоизоляцию толщиной 130 мм, а при использовании распорного элемента из оцинкованной стали требуемая толщина теплоизоляционного слоя составит 160 мм. При этом обе системы, с точки зрения теплоэффективности, будут работать одинаково.

В случае использования стеклопластика в составе конструктивных элементов снижаются:

- общий вес конструкции, а следовательно, нагрузка на фундамент;
- транспортные расходы на доставку строительных материалов меньшего объема;
- размеры (как следствие, стоимость) всех доборных элементов на фасаде (оконные откосы, кронштейны и др.).

ВЫВОДЫ

Проведены теплофизические расчеты для системы утепления фасадов строительных конструкций штукатурного типа с применением тарельчатых анкеров с распорными элементами из однонаправленного стеклопластика, получаемого методом намотки, и распорного элемента из оцинкованной стали. Определены теплотери через единичное крепление и коэффициенты теплотехнической неоднородности при использовании указанных типов распорных элементов для систем с толщиной теплоизоляции 50, 100, 150 и 200 мм.

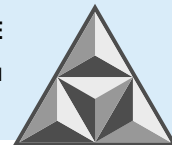
В результате расчета необходимой и достаточной толщины теплоизоляции для утепления здания в г. Новосибирске показана существенная разница в требуемом объеме теплоизоляционного материала в зависимости от типа используемого крепежа.

Внедрение результатов работы при организации утепления навесных вентилируемых фасадов (в том числе – замена используемых металлических кронштейнов на менее теплопроводные неметаллические для крепления элементов подсистемы и декоративных элементов) может обеспечить существенное снижение затрат при строительстве современных зданий и сооружений.

Работа выполнена в рамках госзадания № 121061500030-3 при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, Алтайский край).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М.: Минрегион России, 2012. 95 с.
2. СП 293.1325800.2017. Системы фасадные теплоизоляционные композиционные с наружными штукатурными слоями. Правила проектирования и производства работ. М.: Стандартинформ, 2017. 74 с.
3. ГОСТ Р 58883-2020. Системы навесные фасадные вентилируемые. Общие правила расчета подконструкций. М.: Стандартинформ, 2020. 56 с.
4. ГОСТ Р 58359-2019. Анкеры тарельчатые для крепления теплоизоляционного слоя в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.
5. **Овсянников С.Н., Вязова Т.О.** Теплозащитные характеристики наружных стеновых конструкций с теплопроводными включениями // *Строительные материалы*. 2013. № 6. С. 24-27.
6. **Батаев А.А., Батаев В.А.** Композиционные материалы. Строение, получение, применение. Новосибирск: НГТУ, 2002. 377 с.
7. **Blaznov A.N., Samoilenko V.V., Zimin D.E., Komarova M.V., Ananieva E.S., Firsov V.V., Sakoshev Z.G.** Heat-Resistance Enhancement of Fiberglass-Reinforced Plastics in Manufacturing Environments // *Glass and Ceramics*. 2021. Vol. 78, no. 3-4. P. 111-114. DOI: 10.1007/s10717-021-00357-1.



8. **Блазнов А.Н., Савин В.Ф., Волков Ю.П., Рудольф А.Я., Старцев О.В., Тихонов В.Б.** Методы механических испытаний композиционных стержней: монография / под ред. А.Н. Блазнова, В.Ф. Савина. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. 314 с.
9. **Чеботарева В.С., Новиков М.В.** Энергоэффективные фасадные системы // *Международный научный журнал «Вестник науки»*. 2019. Т. 3, № 4 (13). С. 56-65. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37382610>
10. Заключение по результатам теплотехнических расчетов фасадной системы с тонким наружным штукатурным слоем при применении забивных тарельчатых анкеров с различными распорными элементами. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2020. 39 с. URL: <https://bzs.ru/upload/iblock/1a1/Zaklyuchenie-po-rezultatam-teplotekhnicheskikh-raschetov-fasadnykh-sistem.pdf>
11. ГОСТ Р 56733-2015. Здания и сооружения. Метод определения удельных потерь теплоты через неоднородности ограждающей конструкции. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.

Поступила в редакцию 23.06.2023

Одобрена после рецензирования 19.09.2023

Принята к опубликованию 22.09.2023

REFERENCES

1. SP 50.13330.2012. (2012) *Thermal performance of the buildings*. Moscow: Minregion Rossii (in Russian).
2. SP 293.1325800.2017. (2017) *Facade's thermo insulation composite systems with external mortar layers. Design and work execution rules*. М.: Standartinform (in Russian).
3. GOST R 58883-2020. (2020) *Hinged ventilated facade systems. General rules of calculation of substructures*. М.: Standartinform (in Russian).
4. GOST R 58359-2019. (2019) *Plate anchors for fixing of external thermal insulation composite systems with rendering. Specifications*. Moscow: Standartinform (in Russian).
5. **Ovsyannikov, S.N. & Vyazova, T.O.** (2013) Heat-shielding characteristics of external wall structures with heat-conducting inclusions, *Stroitelnye materialy*, (6), pp. 24-27 (in Russian).
6. **Bataev, A.A. & Bataev, V.A.** (2002) *Composite materials. Structure, obtaining, application*. Novosibirsk: NSTU (in Russian).
7. **Blaznov, A.N., Samoilenko, V.V., Zimin, D.E., Komarova, M.V., Ananieva, E.S., Firsov, V.V. & Sakoshev, Z.G.** (2021) Heat-Resistance Enhancement of Fiberglass-Reinforced Plastics in Manufacturing Environments, *Glass and Ceramics*, 78 (3-4), pp. 111-114. DOI: 10.1007/s10717-021-00357-1.
8. **Blaznov, A.N., Savin, V.F., Volkov, Yu.P., Rudolf, A.Ya., Startsev, O.V. & Tikhonov, V.B.** (2011) *Methods of mechanical testing of composite rods*. Biysk: Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta (in Russian).
9. **Chebotareva, V.S. & Novikov, M.V.** (2019) Energy-efficient facade systems, *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Vestnik nauki»*, 3(4), pp. 56-65 [online]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37382610> (in Russian).
10. *Conclusion based on the results of thermal engineering calculations of the facade system with a thin outer plaster layer using driven disc anchors with various expansion elements*. (2020) Novosibirsk: Institut teplofiziki SO RAN. [online]. Available at: <https://bzs.ru/upload/iblock/1a1/Zaklyuchenie-po-rezultatam-teplotekhnicheskikh-raschetov-fasadnykh-sistem.pdf> (in Russian).
11. GOST R 56733-2015. (2016) *Buildings and constructions. Method for determination of the specific heat losses through inhomogeneity of the enclosing structure*. М.: Standartinform (in Russian).

Received 23.06.2023

Approved after reviewing 19.09.2023

Accepted 22.09.2023