

УДК 691:699.86:692.23

А. Г. Перехоженцев, О. Г. Чеснокова**ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕРХТОНКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Статья освещает результаты расчета температурных полей легкой стеновой панели. Обобщен опыт рабочего проектирования. Предложен способ увеличения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и уменьшения негативного влияния расположения несущих конструкций в зоне отрицательных температур.

Ключевые слова: легкий каркас, теплофизические свойства материалов, архитектурно-конструктивное проектирование, коэффициент теплопроводности, расчет температурных полей.

The article highlights the results of calculation of temperature fields of light wall panel. The experience of design engineering is summed up. The authors offer the method for increase of thermal resistance of a building envelope and reduction of the negative impact of the location of load-bearing structures in the area of cold temperatures.

Key words: lightweight frame, thermo physical properties of materials, architectural and structural design, thermal conduction coefficient, calculation of temperature fields.

В предлагаемой статье обобщен опыт проектирования и строительства зданий из легких каркасных конструкций [1], в основу которых заложены металлические стойки, металлоцекавитные балки, плиты и многослойные стеновые панели с утеплителем (рис. 1) [2].

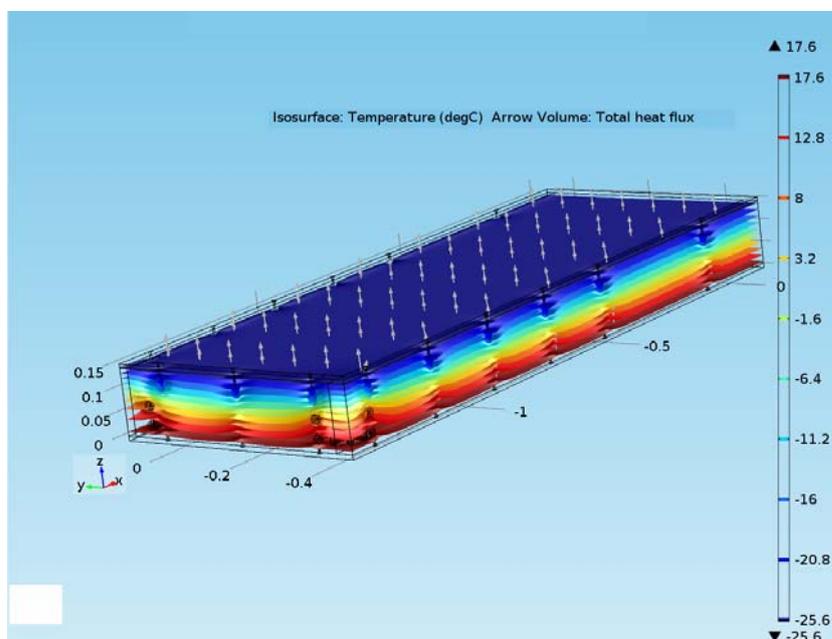


Рис. 1. Расчетные температурные поля наружной многослойной легкой стеновой панели, выполненной из деревянного каркаса, цементно-стружечной плиты (ЦСП) с заполнением минеральной ватой

Металлоцекавит — негорючий композитный материал, получаемый в результате соединения по специальной технологии стальных элементов с цекавитом. Цекавит — негорючий материал, получаемый в результате ускоренной сквозной пропитки древесины специальным огнезащитным составом (Стойки металлоцекавитные. Архитектурно-строительной системы "ЭЛЕВИТ" Технические условия. 5285-001-46023561-2003).

Стойки представляют собой комплексную конструкцию, состоящую из стальной трубы (сердечника) квадратного или прямоугольного сечения (рис. 2), закрытого (облицованного) накладками из цекавита [3]. Допускается облицовка стоек накладками из цементно-стружечной плиты (ЦСП). Конструкция стоек показана на рис. 2.

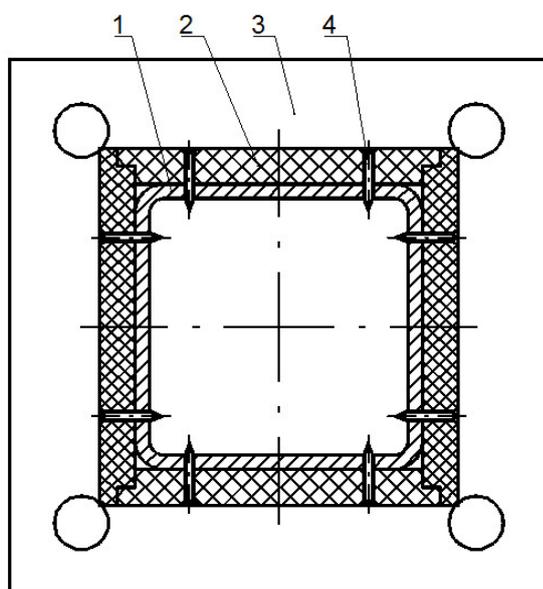


Рис. 2. Стойка металлоцекавитная СМЦ₁ — рядовая с нижней горизонтальной опорной площадкой: 1 — сердечник (труба ГОСТ 8639-82 и/или ГОСТ 8645-82, или ГОСТ 30245-2003), 2 — накладка цекавитная, 3 — опорная площадка (нижняя горизонтальная), 4 — винт самонарезающий

Цекавит относится к материалам группы горючести не ниже Г2 по ГОСТ 30244-943. Его прочностные характеристики соответствуют прочностным характеристикам древесины 2-го сорта по СНиП II-25-80 с коэффициентом не ниже 0,9.

Элементы накладок (облицовки) из цекавита получают путем глубокой пропитки заготовок из древесины огнебиозащитными составами и гидрофобизацией поверхности в соответствии с требованиями ТУ.

На рис. 3 представлена стадия сборки каркаса, на которой видно, что несущие металлоцекавитные колонны после полной сборки здания окажутся внутри наружной стеновой панели (рис. 4), т. е. в зоне отрицательных температур, и будут представлять собой дополнительные теплопроводные включения — «мостики холода». Все это неблагоприятно сказывается на всей конструкции здания и может привести к преждевременной коррозии металла не-

сущих конструкций, к промерзанию углов здания или выпадению конденсата на внутренней поверхности стены в том месте, где под облицовкой находится металлоцекавитная колонна.

В данной статье предлагается усилить теплозащиту колонн, применяя жидкую сверхтонкую теплоизоляцию. Далее представлен анализ температурных полей внутри углового фрагмента здания как наиболее неблагоприятного участка стены.

Задача решалась методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программы COMSOL Multiphysics v4.3a (Comsol v.4.3. Nonlinear Structural Materials Module User's Guide, Comsol v.4.3. COMSOL Multiphysics. User's Guide), [3—5], (URL: <http://www.comsol.com>), [6, 7].



Рис. 3. Индивидуальный жилой дом в стадии сборки, выполненный в легких металлодеревянных каркасных конструкциях

Для сравнительного анализа было сделано 3 варианта (рис. 5—7) конструктивного решения облицовки несущей стальной колонны:

1 вариант — принятое конструктивное решение угла с использованием деревянной облицовки колонны;

2 вариант — замена облицовки колонны из дерева на окраску сверхтонкой жидкой керамической теплоизоляцией. Окраска колонны производится полностью;

3 вариант — замена облицовки колонны из дерева на окраску сверхтонкой жидкой керамической теплоизоляцией. Для повышения температуры в углу комнаты применяется вставка металлического уголка.

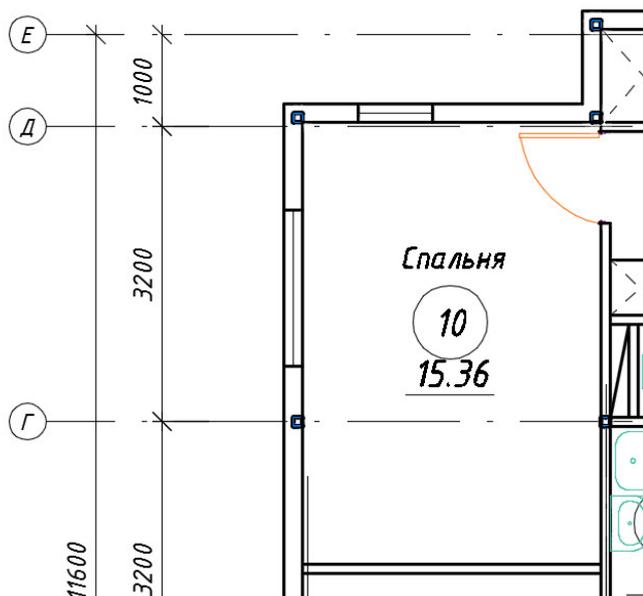


Рис. 4. Фрагмент плана индивидуального жилого здания с колоннами, расположенными внутри наружных стеновых панелей

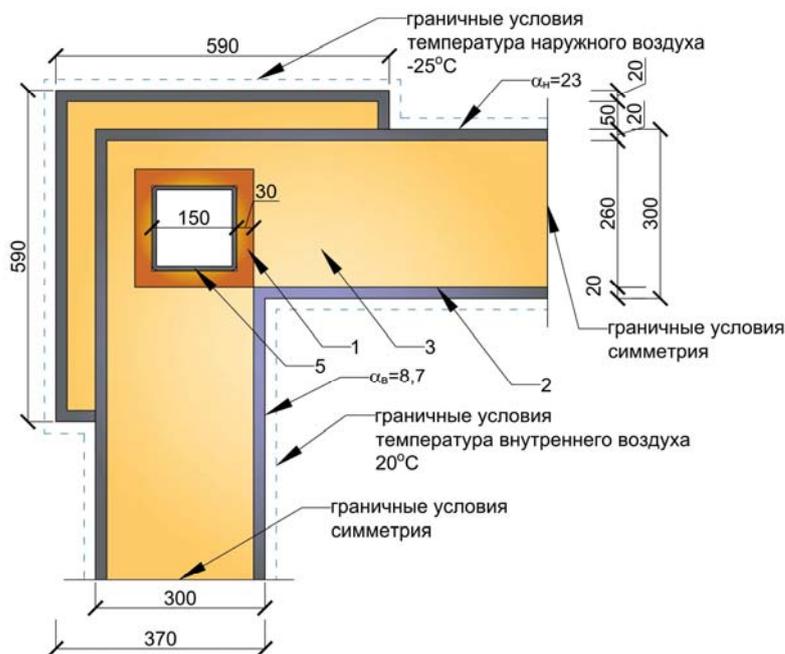


Рис. 5. Фрагмент плана здания. Принятое конструктивное решение угла с использованием деревянной облицовки колонны (1 вариант расчетной схемы). Условные обозначения к рис. 5—7: 1 — облицовка колонны из цекавита; 2 — облицовка наружной панели из ЦСП; 3 — утеплитель — минераловатная плита; 4 — окраска сверхтонкой жидкой керамической теплоизоляцией; 5 — стальная несущая колонна; 6 — стальной уголок

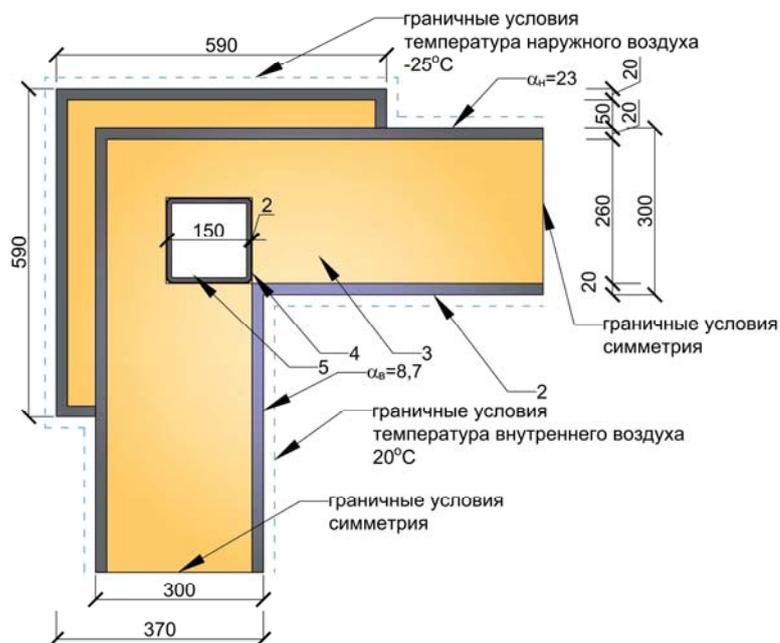


Рис. 6. Предлагаемое конструктивное решение угла с полной окраской колонны сверхтонкой теплоизоляцией (2 вариант расчетной схемы)

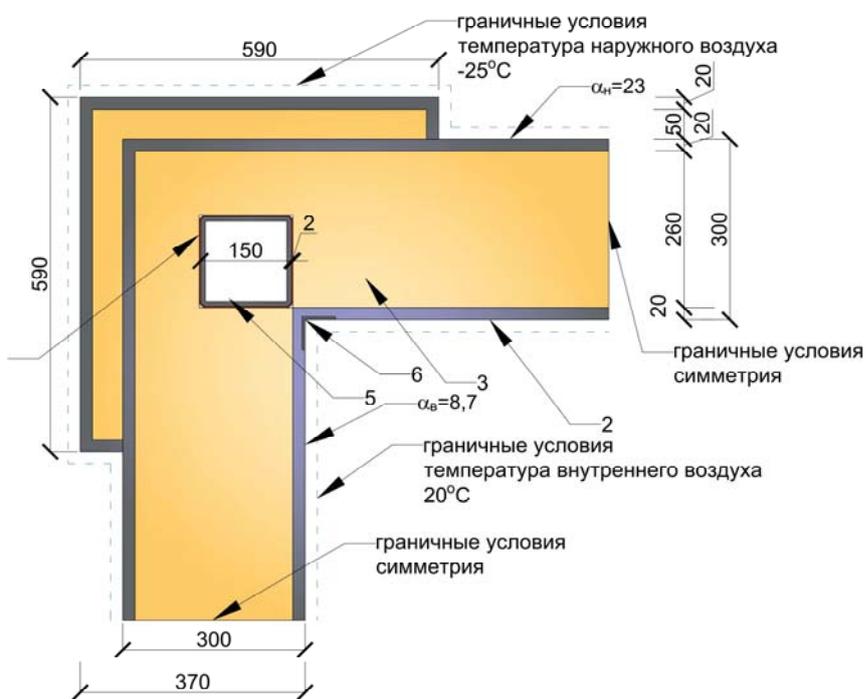


Рис. 7. Предлагаемое конструктивное решение угла с окраской колонны сверхтонкой теплоизоляцией и вставкой уголка (3 вариант расчетной схемы)

Характеристики используемых в расчете материалов приведены ниже в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Расчетные параметры материалов

Наименование материала	Теплопроводность, В/(м·К)	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)
Минеральная вата	0,04	80	840
ЦСП	0,26	1100	1250
Сталь	44,5	7850	475
Сверхтонкая теплоизоляция	0,012	1600	1470

Распределение температурных полей определялось из решения дифференциального уравнения:

$$\operatorname{div}(-\lambda \nabla T) = 0, \text{ где } \nabla \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} \text{ — оператор Лапласа.}$$

При расчете учитывали следующие граничные условия (ГУ):

$$q = \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} = \frac{t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}}{R_{\text{int}}} = \frac{t_{\text{ext}} - \tau_{\text{ext}}}{R_{\text{ext}}} = \text{const},$$

где R_{int} — сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждения; R_{ext} — сопротивление теплопередаче наружной поверхности ограждения; R_0 — общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции; $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ — температура внутреннего воздуха; $t_{\text{ext}} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ — температура наружного воздуха; на наружной поверхности принята температура, как наиболее неблагоприятная в зимний период; τ_{int} — температура внутренней поверхности ограждающей конструкции; τ_{ext} — температура наружной поверхности ограждающей конструкции.

Кроме того, в расчете были заданы следующие граничные условия:

α_{int} — коэффициент теплоотдачи, принят по табл. 4 СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003», равен $8,7 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ для утренней поверхности; α_{ext} — коэффициент теплоотдачи для наружной поверхности равный $23 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, принят по табл. 6 СП 50.13330.2012

Задача была рассчитана в стационарном режиме с неизменными теплофизическими свойствами материалов слоев. Стационарный режим рассмотрен как для плоской задачи (рис. 8, 9).

Далее представлена конструкция, в которой проведена замена облицовки колонны из цекавита на окраску сверхтонкой жидкой керамической теплоизоляцией (рис. 10—13) [7—12].

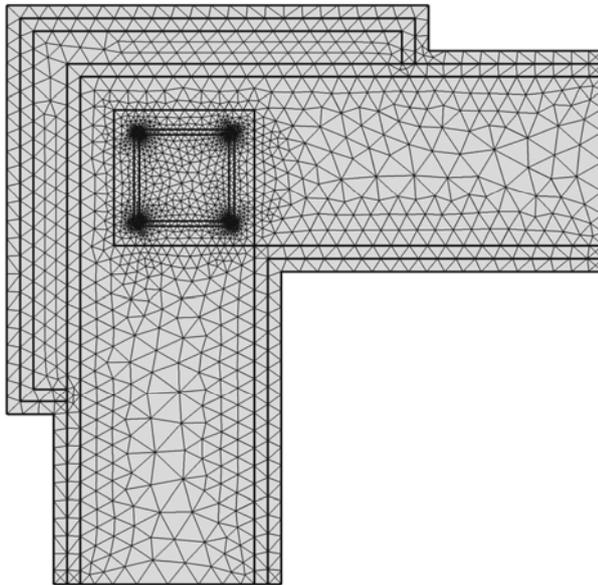


Рис. 8. Сетка конечных элементов по 1 варианту расчетной схемы (4620 элементов)

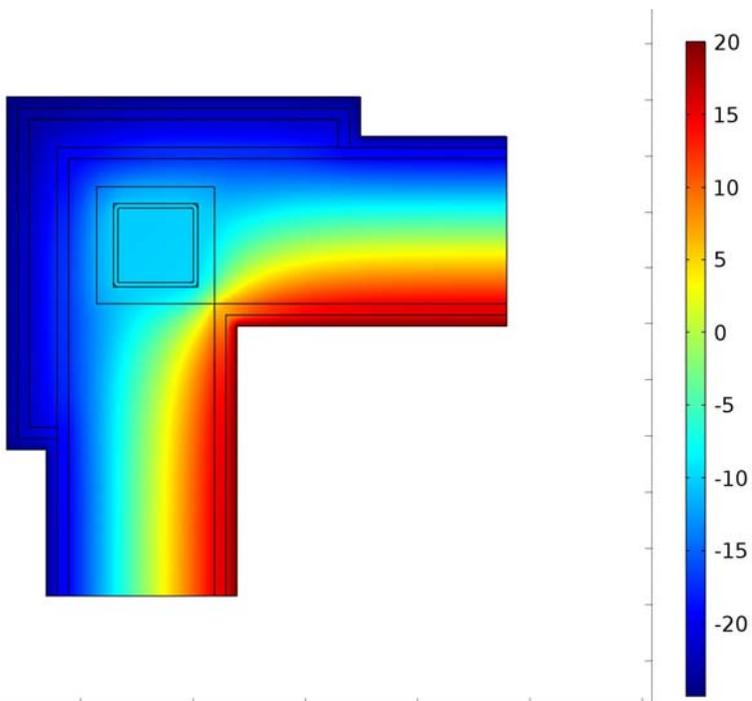


Рис. 9. Графическое представление распределения температурных полей. 1 вариант расчетной схемы

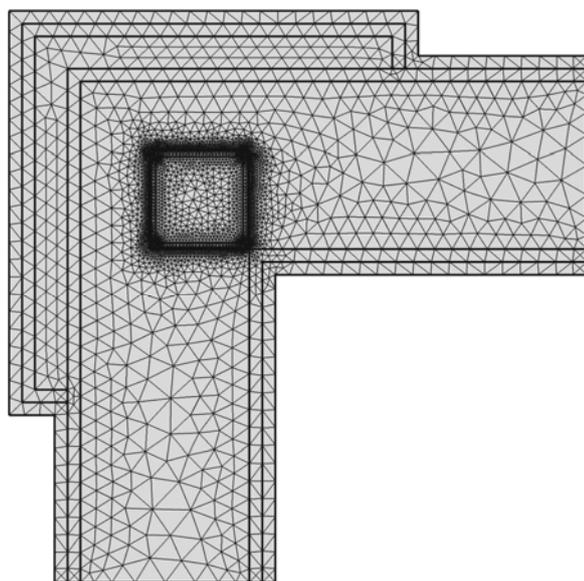


Рис. 10. Сетка конечных элементов по 2 варианту расчетной схемы (8276 элемента)

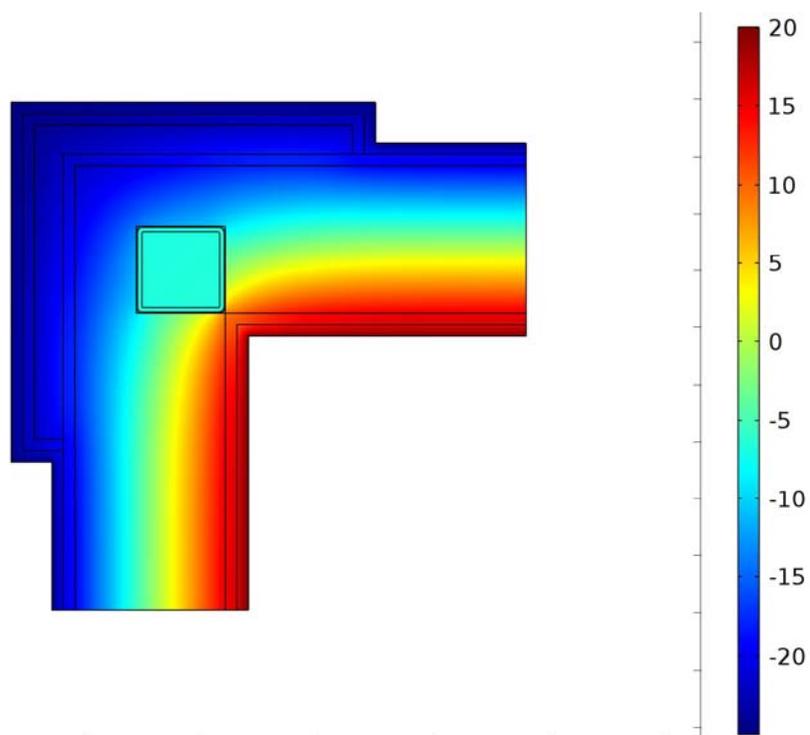


Рис. 11. Графическое представление распределения температурных полей. 2 вариант расчетной схемы (проектное предложение)

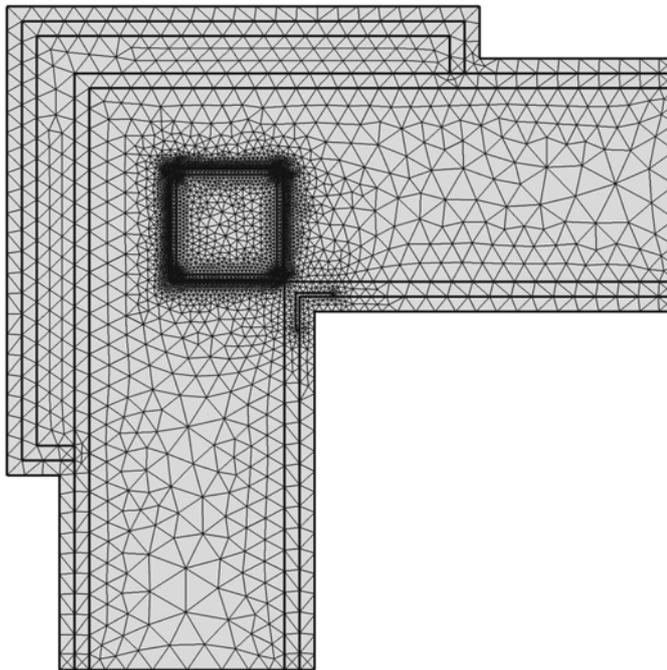


Рис. 12. Сетка конечных элементов по 3 варианту расчетной схемы (8578 элементов)

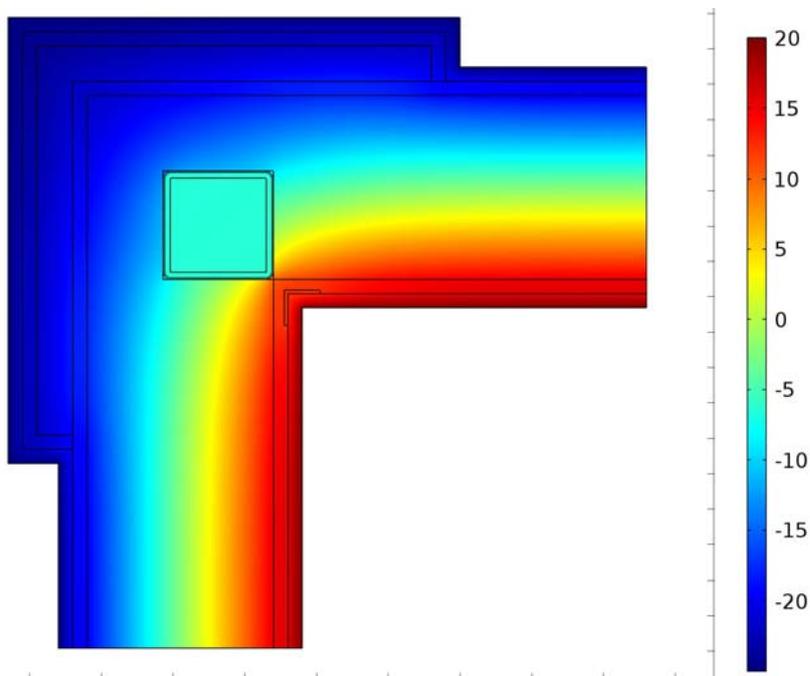


Рис. 13. Графическое представление распределения температурных полей. 3 вариант расчетной схемы (проектное предложение)

Т а б л и ц а 2

Сравнительный анализ расчетных температур внутри конструкции

	Температура на внутренней поверхности стены, °С	Температура на внутренней поверхности облицовки колонны, °С	Температура на внешней поверхности облицовки трубы, °С	Температура на внутренней поверхности трубы, °С	Температура в углу, °С
1 вариант: облицовка колонны сосной цекавитом	14,39	-7,78	-12,37	-9,94	7,52
2 вариант: окраска сверхтонкой жидкой теплоизоляцией всей колонны	14,95	-1,19	-11,86	-6,61	10,74
3 вариант: окраска сверхтонкой жидкой теплоизоляцией колонны и вставка стального уголка 50×50×5 мм в угол	14,96	-0,8	-11,68	-6,28	12,17

Выводы

1. Результаты расчетов температуры с линейными теплофизическими свойствами показали, что использование сверхтонкой теплоизоляции более эффективно с точки зрения теплозащиты несущих конструкций.

2. Кроме того, следует отметить, что значительную долю в изменение распределения температуры приведут различные конструктивные особенности, такие как щели, неплотная подгонка, технологические отверстия облицовки несущей колонны из цекавита. Все это можно исключить, применяя окраску жидкой сверхтонкой керамической теплоизоляцией. Это приведет к изменению распределения температур и ее увеличению на поверхности и внутри конструкции стены.

3. В результате принятого конструктивного решения с использованием сверхтонкой теплоизоляции усредненная температура стены в углу увеличилась в 1,42 раза (поднялась с 7,52 до 10,74 °С).

4. Вставка стального уголка во внутренний угол стены дополнительно может увеличить температуру на внутренней поверхности стены до 12,17 °С

5. Соотношение цены деревянной облицовки и окраски сверхтонкой теплоизоляцией зависит от многих параметров, и при укрупненном расчете цена деревянной облицовки дороже примерно в 1,2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чеснокова О. Г. Возможности применения системы «Элевит» в малоэтажном строительстве // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 3(28). Ст. 17. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
 2. Великородный Я. А., Жарков А. Ф., Чеснокова О. Г. К вопросу инженерной методики расчета приведенного термического сопротивления многослойных конструкций с неоднородными включениями // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2014. Вып. 1(31). Ст. 10. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
 3. Красников Г. Е., Нагорнов О. В., Старостин Н. В. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. М. : НИЯУ МИФИ, 2012. 184 с.
 4. Бирюлин Г. В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL / FEMLAB DOC. Методическое пособие. СПб.: СПбГУИТМО, 2006. 78 с.
 5. Chung J., Hulbert G. M. A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: The generalized- α method // J. Appl. Mech. 1993. V. 60. Pp. 371—375
 6. SUNDIALS: Suite of Nonlinear and Differential/Algebraic Equation Solvers / A. C. Hindmarsh, P. N. Brown, K. E. Grant, S. L. Lee, R. Serban, D. E. Shumaker and C. S. Woodward // ACMT. Math. Software. 2005. V. 31. P. 363.
 7. Brown P. N., Hindmarsh A. C. and Petzold L. R. Using Krylov methods in the solution of large-scale differential-algebraic systems // SIAM J. Sci. Comput. 1994. V. 15. Pp. 1467—1488.
 8. Телегин А. С. Тепло-массоперенос. М. : Metallurgiya, 1995. 400 с.
 9. Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г. Исследование возможности применения жидких керамических теплоизоляций для повышения сопротивления теплопередаче совмещенных кровельных покрытий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 27(46). С. 5—8.
 10. Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г., Власов В. А. Применение жидкого керамического утеплителя для улучшения теплофизических параметров участков существующих ограждающих конструкций // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 21(40). С. 44—46.
 11. Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г., Власов В. А. Использование сверхтонкой теплоизоляции «Корунд-фасад» в сопряжении перекрытий со стенами монолитных зданий // Научный потенциал молодых ученых для инновационного развития строительного комплекса Нижнего Поволжья : материалы Международной науч.-практич. конф.: в 2-х ч. 2011. С. 209—211.
 12. Жуков А. Н., Перехоженцев А. Г. Экспериментальное определение коэффициента паропроницаемости жидкого керамического утеплителя типа «Корунд-классик» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 26(45). С. 144—147.
1. Chesnokova O. G. Vozmozhnosti primeneniya sistemy «Elevit» v maloetazhnom stroitel'stve // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2013. Vyp. 3(28). St. 17. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
 2. Velikorodnyi Ya. A., Zharkov A. F., Chesnokova O. G. K voprosu inzhenernoi metodiki rascheta privedennogo termicheskogo soprotivleniya mnogoslownykh konstruktssii s neodnorodnymi vklucheniymi // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya. 2014. Vyp. 1(31). St. 10. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>
 3. Krasnikov G. E., Nagornov O. V., Starostin N. V. Modelirovanie fizicheskikh protsessov s ispol'zovaniem paketa Comsol Multiphysics. M. : NIYaU MIFI, 2012. 184 s.
 4. Biryulin G. V. Teplofizicheskie raschety v konechno-elementnom pakete COMSOL / FEMLAB DOC. Metodicheskoe posobie. SPb.: SPbGUITMO, 2006. 78 s.
 5. Chung J., Hulbert G. M. A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: The generalized- α method // J. Appl. Mech. 1993. V. 60. Pp. 371—375
 6. SUNDIALS: Suite of Nonlinear and Differential/Algebraic Equation Solvers / A. C. Hindmarsh, P. N. Brown, K. E. Grant, S. L. Lee, R. Serban, D. E. Shumaker and C. S. Woodward // ACMT. Math. Software. 2005. V. 31. P. 363.
 7. Brown P. N., Hindmarsh A. C. and Petzold L. R. Using Krylov methods in the solution of large-scale differential-algebraic systems // SIAM J. Sci. Comput. 1994. V. 15. Pp. 1467—1488.
 8. Telegin A. S. Teplo-massoperenos. M. : Metallurgiya, 1995. 400 s.
 9. Zhukov A. N., Perekhzhentsev A. G. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya zhidkikh keramicheskikh teploizolyatsii dlya povysheniya soprotivleniya teploperedache sovmeshchennykh kro-

vel'nykh pokrytii // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. № 27(46). S. 5—8.

10. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G., Vlasov V. A. Primenenie zhidkogo keramicheskogo uteplitelya dlya uluchsheniya teplofizicheskikh parametrov uchastkov sushchestvuyushchikh ograzhdayushchikh konstruktсии // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2011. № 21(40). S. 44—46.

11. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G., Vlasov V. A. Ispol'zovanie sverkhtonkoi teploizolyatsii «Korund-fasad» v sopryazhenii perekrytii so stenami monolitnykh zdaniy // Nauchnyi potentsial molodykh uchenykh dlya innovatsionnogo razvitiya stroitel'nogo kompleksa Nizhnego Povolzh'ya : materialy Mezhdunarodnoi nauch.-praktich. konf.: v 2-kh ch. 2011. S. 209—211.

12. Zhukov A. N., Perekhozhentsev A. G. Eksperimental'noe opredelenie koeffitsienta paropronitsaemosti zhidkogo keramicheskogo uteplitelya tipa «Korund-klassik» // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2012. № 26(45). S. 144—147.

© *Перехоженцев А. Г., Чеснокова О. Г., 2015*

*Поступила в редакцию
в январе 2015 г.*

Ссылка для цитирования:

Перехоженцев А. Г., Чеснокова О. Г. Возможности использования сверхтонкой теплоизоляции для повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2015. Вып. 2(38). Ст. 11. Режим доступа: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

*Perekhozhentsev A. G., Chesnokova O. G. [Opportunity of application of super-thin thermal isolation to increase heat-insulating properties of building envelopes]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015, no. 2(38), paper 11. (In Russ.). Available at: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>*