

УДК 691.327.332

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕНЕНИИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ОТХОДОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Шарапов О.Н., Полякова В.В., Бабухин Д.А., Рудакова Д.С.

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,
Белгород, e-mail: y31rus@mail.ru

Перспектива развития строительной отрасли зачастую сводится к применению энергоэффективных материалов и изделий. Основную задачу энергоэффективности здания можно обозначить в сохранении тепла и снижении энергозатрат на отопление жилых помещений. В связи с этим предпринимаются различные исследования в области изменения тепловых параметров ограждающих конструкций. Одним из них является применение теплоизоляционных материалов на основе отходов строительной отрасли. Проведены лабораторные исследования по созданию теплоизоляционного материала на основе гипсового вяжущего для использования в качестве внутреннего утепления наружных стен. В лабораторных условиях проведено формование четырех видов образцов с применением в качестве мелкого заполнителя таких материалов как: щебень мелкой фракции, гранулы пенополистирола, деревянные опилки и обломки газосиликата мелкой фракции. Проведены испытания образцов исходя из результатов, полученных при исследованиях на приборе ИТП МГ – 4 250. Проведен сравнительный анализ образцов с опорой на показания лабораторных исследований и произведенного теплотехнического расчета. Представлены результаты по каждому образцу, и вся информация сведена в единый вывод по данному научному исследованию.

Ключевые слова: строительные отходы, внутреннее утепление, энергоэффективность, многослойные ограждающие конструкции

ON THE PROBLEM OF ALTERING THE ENCLOSING STRUCTURES' THERMAL CHARACTERISTICS BY USING BUILDING INDUSTRY WASTE

Sharapov O.N., Polyakova V.V., Babukhin D.A., Rudakova D.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: y31rus@mail.ru

The prospects for construction industry development often come down to using the energy-efficient materials and products. The primary goal of a building's energy efficiency can be described as heat conservation and reducing energy costs for domestic space heating. In this regard various researches are carried out in the sphere of altering the thermal characteristics of enclosing structures. One of the trends of research is using heat insulating materials on the base of building industry waste. The laboratory study concerning the designing of a heat insulating material on the base of a gypsum binder for the indoor insulation of outer walls has been carried out. Four types of samples have been formed under laboratory conditions, using the following materials as a fine aggregate: fine-fraction breakstone, foam polystyrene pellets, wood dust and fine-fraction gas silicate rubble. The samples have been tested based on the results, obtained at the study with the ITP MG – 4 250 device. The comparative analysis of the samples on the basis of the laboratory research data and the thermotechnical calculations has been done. The findings for each sample are presented and the overall information is reduced to the conclusion of this scientific research.

Keywords: construction waste, indoor insulation, energy efficiency, multilayered enclosing structures

На протяжении последнего десятилетия произошли большие изменения в строительной индустрии. Были введены дополнительные требования к качеству теплоизоляционных материалов. Согласно Федеральному закону 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» требования к теплоизоляционным материалам ужесточились, что привело к ограничению параметров ограждающих конструкций по теплопроводности на основании СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», по которому многие здания не соответствуют теплотехническим параметрам.

Актуальность темы обусловлена необходимостью применения современных отделочных материалов с повышенными теплоизоляционными и декоративными функциями.

Цели научной работы:

1. Выяснить взаимосвязи и теплотехнические параметры в различных видах декоративных, отделочных и теплоизоляционных-декоративных системах.

2. Рассчитать возможность применения данных систем в отделки внутреннего помещения.

3. Проверить соответствие теплотехнических параметров ограждающей конструкции с применением данных видов систем.

Задачи:

1. Произвести формование образцов (размером 10*10*2) из 4 различных видов теплоизоляционных материалов (на гипсовом вяжущем).

2. Произвести расчет коэффициента теплопроводности и сопротивлению теплоотдачи (с использованием прибора ИТП МГ-4 250).

3. Произвести расчет многослойной конструкции после использования данных систем.

4. Выяснить закономерность в изменениях теплотехнических параметров при применении различных видах теплотехнических систем.

В ходе работы было произведено формирование образцов из следующих материалов: щебень и пенопласт на основе гипсового вяжущего. В первом составе был использован самый нетеплопроводный материал – щебень мелкой фракции (1,25–5). Данный материал был взят в массовом соотношении к гипсовому вяжущему как 1:1 (50% – щебня и 50% – гипса).

После формирования данного образца теплоизоляционного материала было проведено испытание на приборе ИТП МГ-4 250 на теплопроводность данного материала. Данное испытание показало, что при $T_x = 15^\circ\text{C}$, $T_n = 40^\circ\text{C}$ и $H = 20$ мм коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,084$ Вт/м*К, а сопротивление теплопроводности $R = 0,232$ м²*К/Вт [1].

После испытания теплоизоляционного материалы мы проверяем стену на способность сохранять тепло внутри помещения на примере конструкции, приведенной на рис. 1.

Исходные данные строительной климатологии на территории Белгородской области представлены в таблице [2].

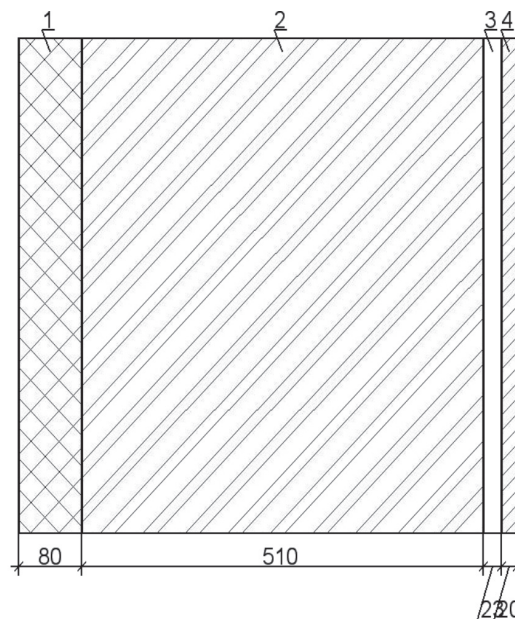


Рис. 1. Схема ограждающей конструкции

1. Изовол $\delta = 0,08$ м, $\lambda = 0,039$ Вт/(м*°C).
2. Кирпичная кладка на цементно-песчаном растворе, $\delta = 0,51$ м, $\lambda = 0,7$ Вт/(м*°C).
3. Воздушная прослойка, $\delta = 0,023$ м, $\lambda = 0,16$ Вт/(м*°C).
4. Образец гипсокартона $\delta = 0,02$ м, $\lambda_{щ} = 0,079$ Вт/(м*°C), $\lambda_{п} = 0,084$ Вт/(м*°C) [3].

Строительная климатология Белгородской области

Наименование	Относительная влажность воздуха φ , %	Расчетная средняя температура внутреннего воздуха $t_{в}$, °C	Средняя температура наружного воздуха $t_{н}$, °C	Продолжительность отопительного периода Z_o , сут.	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций $\alpha_{инт}$, Вт/(м ² *°C)	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций для условий холодного периода $\alpha_{нар}$, Вт/(м ² *°C)	Коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов и т.д. γ	Средняя месячная температура наиболее холодного месяца в году $t_{н}$, °C	Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца $\varphi_{н}$, %	Климат
Значение	55	20	–1,9	191	8,7	23	0,92	–8,5	84	сухой

Первым действием расчета является определение требуемого показателя разницы температур внутреннего и наружного воздуха, определяемого за отопительный период ГСОП, °C·сут:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \times z_{\text{от}},$$

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1,9)) \times 191 = 4182,9 \text{ °C} \cdot \text{сут}.$$

После определения ГСОП мы рассчитаем нормируемое сопротивление теплопередаче для Белгородской области $R_0(\text{н})$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$):

$$R_0(\text{н}) = a \times \text{ГСОП} + b,$$

$$R_0(\text{н}) = 0,00035 \times 4182,9 + 1,4 = 2,86 \text{ м}^2 \text{ °C}/\text{Вт}.$$

Условное сопротивление теплоотдачи $R_0(\text{усл})$, ($\text{м}^2 \text{ °C}/\text{Вт}$) рассчитаем по формуле

$$R_0(\text{усл}) = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_{\text{n}}}{\lambda_{\text{n}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}},$$

$$R_0(\text{усл}) = \frac{1}{8,7} + \frac{0,08}{0,039} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,023}{0,16} + \frac{0,02}{0,084} + \frac{1}{23} = 3,32 \text{ м}^2 \text{ °C}/\text{Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_0(\text{пр})$, ($\text{м}^2 \text{ °C}/\text{Вт}$) [4]:

$$R_0(\text{пр}) = R_0(\text{усл}) \times r,$$

Для учета стыков, обрамляющих проемов, откосов учитывается коэффициент r , равный 0,92 [5].

$$R_0(\text{пр}) = 3,32 \times 0,92 = 3,05 \text{ м}^2 \text{ °C}/\text{Вт}.$$

Согласно СП 50.13330.2012 конструкция рассчитывается на паропроницаемость. Это проводится для выявления зон конденсации и определения сопротивлению паропроницаемости $R_{\text{п}}$, которое рассчитаем по формуле

$$R_{\text{п}} = \frac{0,08}{0,3} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,02}{0,075} = 5,17 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг} [6].$$

Определение парциального давления водяного пара:

$$e_{\text{н}} = \left(\frac{84}{100} \right) \times 1,84 \times 10^{11} \times \exp \left(\frac{-5330}{(273 + (-8,5))} \right) = 274 \text{ Па}.$$

Температуры и максимальные давления водяного пара на границе слоев определяются в следующей последовательности: от внутренней к наружной поверхности. Для четырехслойной конструкции получим 5 значений давления и температуры [7]:

$$t_1 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115 + 0,92)}{3,07} \right) = 19 \text{ °C},$$

$$e_{\text{в1}} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp \left(\frac{-5330}{(273 + 19)} \right) = 2175 \text{ Па},$$

$$t_2 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115 + 0,25)}{3,34} \right) = 16,9 \text{ °C},$$

$$e_{\text{в2}} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp \left(\frac{-5330}{(273 + 16,9)} \right) = 1906 \text{ Па},$$

$$t_3 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115 + 0,39)}{3,34} \right) = 15,7 \text{ °C},$$

$$e_{в3} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{(273+15,7)}\right) = 1765 \text{ Па},$$

$$t_4 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115+1,12)}{3,34}\right) = 9,5^\circ\text{C},$$

$$e_{в4} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{(273+9,5)}\right) = 1177 \text{ Па},$$

$$t_5 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115+3,17)}{3,34}\right) = -8^\circ\text{C},$$

$$e_{в5} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{(273-8)}\right) = 339 \text{ Па [8]}.$$

По завершению расчета определим действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев:

$$e_i = e_b - (e_b - e_n) \times \sum R / R_n,$$

$$e_1 = 1286 \text{ Па}$$

$$e_2 = 1286 - (1286 - 274) \times 0,27/5,17 = 1233,1 \text{ Па},$$

$$e_3 = 1286 - (1286 - 274) \times 0,27/5,17 = 1233,1 \text{ Па},$$

$$e_4 = 1286 - (1286 - 274) \times 4,91/5,17 = 324,9 \text{ Па},$$

$$e_5 = 274 \text{ Па}.$$

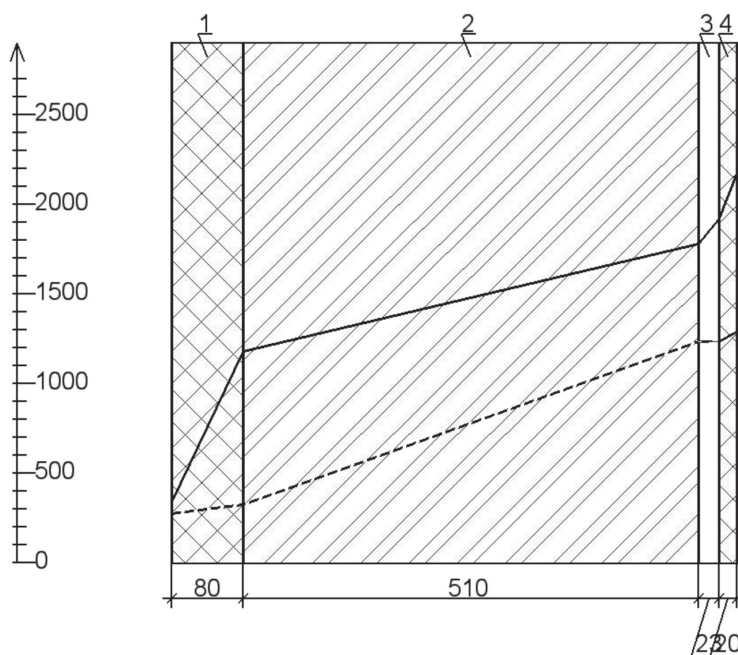


Рис. 2. Кривые распределения действительного и максимального парциального давления
 — — — кривая действительного парциального давления водяного пара
 — кривая максимального парциального давления водяного пара

Итог по первому образцу: согласно расчетам по сопротивлению теплоотдаче приведенное $R_0^{пр}$ больше нормируемого $R_0^{норм}$ ($3,05 > 2,86$), что говорит о соответствии ограждающей конструкции требованиям по теплопередаче. Показания расчета точки росы демонстрируют невозможность образования конденсата, так как кривые, отображенные на рис. 2, не пересекаются.

Во втором составе был использован пенополистирол. Данный материал был взят в соотношении по объему 1:1, по массе 97,7% гипса и 2,3% пенопласта.

После формования данного образца теплоизоляционного материала было проведено испытание на приборе ИТП МГ-4 250 на теплопроводность данного материала. Данное испытание показало, что при $T_x = 15^\circ\text{C}$, $T_n = 40^\circ\text{C}$ и $H = 20$ мм коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,079$ Вт/м*К, а сопротивление теплопроводности $R = 0,291$ м²*К/Вт.

После испытания теплоизоляционного материала мы проверяем стену на теплопроводность [9].

Условное сопротивление теплоотдачи R_0 (усл), (м²*°C/Вт) рассчитаем по формуле

$$R_0(\text{усл}) = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta n}{\lambda n} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}},$$

$$R_0(\text{усл}) = \frac{1}{8,7} + \frac{0,08}{0,039} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,023}{0,16} + \frac{0,02}{0,079} + \frac{1}{23} = 3,34 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 (пр), (м²*°C/Вт):

$$R_0(\text{пр}) = R_0(\text{усл}) \times r,$$

$$R_0(\text{пр}) = 3,32 \times 0,92 = 3,07 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

Согласно СП 50.13330.2012 конструкция рассчитывается на паропроницаемость. Это проводится для выявления зон конденсации и определения сопротивлению паропроницаемости R_n , которое рассчитаем по формуле

$$R_n = \frac{0,08}{0,3} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,02}{0,075} = 5,17 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}.$$

Определение парциального давления водяного пара [10]:

$$e_n = \left(\frac{84}{100} \right) \times 1,84 \times 10^{11} \times \exp \left(\frac{-5330}{(273 + (-8,5))} \right) = 274 \text{ Па}.$$

Температуры и максимальные давления водяного пара на границе слоев определяются в следующей последовательности: от внутренней к наружной поверхности. Для четырехслойной конструкции получим 5 значений давления и температуры:

$$t_1 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115 + 0,92)}{3,07} \right) = 19^\circ\text{C},$$

$$e_{v1} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp \left(\frac{-5330}{(273 + 19)} \right) = 2175 \text{ Па},$$

$$t_2 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115 + 0,24)}{3,32} \right) = 17^\circ\text{C},$$

$$e_{v2} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp \left(\frac{-5330}{(273 + 17)} \right) = 1918 \text{ Па},$$

$$t_3 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115 + 0,38)}{3,32} \right) = 15,8^\circ\text{C},$$

$$e_{в3} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{(273+15,7)}\right) = 1777 \text{ Па},$$

$$t_4 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115+1,11)}{3,32}\right) = 9,5^\circ\text{C},$$

$$e_{в4} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{(273+9,5)}\right) = 1177 \text{ Па},$$

$$t_5 = 20 - (20 - (-8,5)) \times \left(\frac{(0,115+3,16)}{3,32}\right) = -8,1^\circ\text{C},$$

$$e_{в5} = 1,84 \times 10^{11} \times \exp\left(\frac{-5330}{(273-8,1)}\right) = 336 \text{ Па}.$$

По завершению расчета определим действительные парциальные давления e_i водяного пара на границах слоев [11]:

$$e_i = e_b - (e_b - e_n) \times \sum R/R_n,$$

$$e_1 = 1286 \text{ Па},$$

$$e_2 = 1286 - (1286 - 274) \times 0,27/5,17 = 1233,1 \text{ Па},$$

$$e_3 = 1286 - (1286 - 274) \times 0,27/5,17 = 1233,1 \text{ Па},$$

$$e_4 = 1286 - (1286 - 274) \times 4,91/5,17 = 324,9 \text{ Па},$$

$$e_5 = 274 \text{ Па}.$$

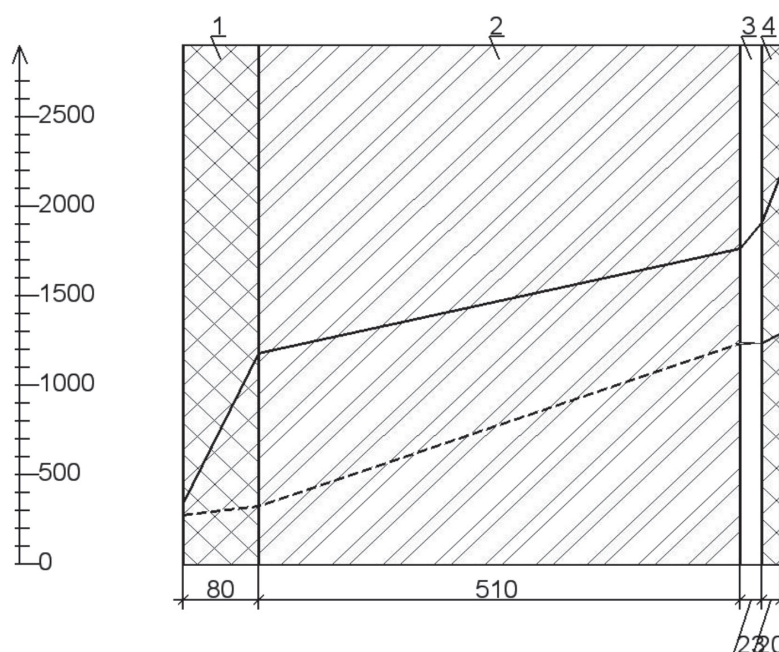


Рис. 3. Кривые распределения действительного и максимального парциального давления
 ---- распределение действительного парциального давления водяного пара e
 ——— распределение максимального парциального давления водяного пара E

Итог по второму образцу: согласно расчетам по сопротивлению теплоотдаче приведенное $R_{0\text{пр}}$ больше нормируемого $R_{0\text{норм}}$ ($3,07 > 2,86$), что говорит о соответствии ограждающей конструкции требованиям по теплопередаче. Показания расчета точки Росы демонстрируют невозможность образования конденсата, так как кривые, отображенные на рис. 3, не пересекаются.

Вывод: в ходе испытаний образцов мы определили, что образец на основе гипсового вяжущего с использованием в качестве заполнителя гранул пенопласта по теплотехническому расчету проявил лучшие показатели, чем образец на основе гипсового вяжущего с использованием в качестве заполнителя щебня мелкой фракции. Обратив внимание на теплопроводность данных материалов, можно прийти к выводу о том, что, используя в качестве заполнителя материала с большим показателем λ можно достичь большей теплопроводности плит утеплителя на основе гипсового вяжущего.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М., 2012. – 100 с.
2. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. – М., 2012. – 113 с.
3. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М., 2004. – 141 с.
4. СП 124.13330.2012. Тепловые сети. – М., 2012. – 78 с.
5. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М., 2013. – 67 с.
6. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. – М., 2011. – 40 с.
7. Косухин М.М. Отделочные и изоляционные материалы в городском строительстве и коммунальном хозяйстве: лабораторный практикум: учебное пособие / М.М. Косухин, О.Н. Шарапов // 2-е изд., перераб. и доп. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – 492 с.
8. Шарапов О.Н. Методы реконструкции кровель с применением минераловатных утеплителей / С.В. Кулигина, О.Н. Шарапов // Сборник докладов X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 т. – ООО «Ассистент плюс», 2017. – 129 с.
9. Барabanщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия: учебное пособие / Ю.Г. Барabanщиков. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2010. – 367 с.
10. Бобров Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции / Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шойхет Б.М., Петухова Е.Ю. // Учебник для средних профессионально-технических учебных заведений. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
11. Кафтаева М.В. Повышение энергоэффективности в образовательных учреждениях / К.В. Кафтаева, О.Н. Шарапов, М.А. Шугаева, Д.Ю. Долженков // Сборник научных докладов № 17: Материалы XVII-ой ежегодной научно-практической конференции. – Белгород: Копировально-множительное бюро СКФ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. – 14 с.