



**ВЕСТНИК ПНИПУ.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
Т. 10, № 4, 2019  
PNRPU BULLETIN.  
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**  
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.08

УДК 691.215.1

## **ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИМАГАДАНЫ**

**А.В. Болотин, С.М. Сергеев, А.А. Лунегова, Е.А. Кочеткова**

Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 27 мая 2019  
Принята: 01 октября 2019  
Опубликована: 10 января 2020

#### *Ключевые слова:*

строительство, строительные материалы, утеплитель, минеральный утеплитель, каменная вата, вулканический пепел.

### АННОТАЦИЯ

Развитие современных технологий не стоит на месте, и ученые стараются не только изобретать новые строительные материалы, но и находить нестандартное применение различного сырья, которое ранее считалось непригодным для использования. Инновационные технологии активно используются для современного строительства зданий, в частности, некоторые виды новых материалов находят применение при возведении объектов различного назначения. Особенно это актуально в районах, где нет возможности завозить или использовать обычные стройматериалы в силу различных причин.

Зачастую застройщики при проектировании здания задаются вопросом: стоит ли производить утепление дома при строительстве и какой утеплитель для стен дома лучше выбрать? В данной статье рассматривается вопрос о том, какой утеплитель для стен при строительстве подходит больше всего. Наиболее распространенными являются минеральные утеплители, которые сегодня представлены на рынке в виде плит из базальта, стекловолокна и т.п. Они имеют такие преимущества, как низкая теплопроводность, хорошая теплоизоляция и паропроницаемость. В статье представлена таблица со сравнительными эксплуатационными характеристиками минераловатной каменной плиты и плиты из стекловолокна.

Каменная или базальтовая вата обладает рядом преимуществ. Она способна выдерживать значительные температуры и температурные перепады, плиты легко транспортировать, удобно производить монтаж. На наш взгляд, серьезной альтернативой базальту при производстве теплоизоляционных материалов является вулканический пепел. Одним из основных особенностей вулканического пепла являются его строительные качества, такие как хорошая теплоизоляция и экологически безвредный состав. Поскольку в статье рассматривается возможность производства теплоизоляционных материалов на основе вулканического пепла, нами был выполнен теплотехнический расчет ограждающих конструкций. Также в таблицах приведены расходы на транспортировку вулканического пепла от месторождения до пункта предполагаемого производства теплоизоляционного материала.

© **Болотин Александр Викторович** – кандидат химических наук, доцент, e-mail: alexandr\_bolotin@mail.ru.

**Сергеев Сергей Михайлович** – доцент, e-mail: gavroch1960@mail.ru.

**Лунегова Анастасия Антоновна** – кандидат экономических наук, доцент, e-mail: laaru@rambler.ru.

**Кочеткова Екатерина Александровна** – студентка, e-mail: gavroch1960@mail.ru.

**Alexander V. Bolotin** – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: alexandr\_bolotin@mail.ru.

**Sergey M. Sergeev** – Associate Professor, e-mail: gavroch1960@mail.ru.

**Anastasia A. Lunegova** – Ph.D. in Economic Sciences, Associate Professor, e-mail: laaru@rambler.ru.

**Ekaterina A. Kochetkova** – Student, e-mail: gavroch1960@mail.ru.

Вулканический пепел может широко использоваться в странах с высокой вулканической активностью в качестве недорогого сырья для изготовления стройматериалов. Он не требует дополнительной обработки и обладает рядом полезных свойств.

© ПНИПУ

## PRODUCTION OF THERMAL INSULATION MATERIAL BASED ON VOLCANIC ASH DEPOSITS OF PRIMAGADANYA

A.V. Bolotin, S.M. Sergeev, A.A. Lunegova, E.A. Kochetkova

Northeastern State University, Magadan, Russian Federation

### ARTICLE INFO

Received: 27 May 2019  
Accepted: 01 October 2019  
Published: 10 January 2020

#### Keywords:

construction, building materials, insulation, mineral insulation, stone wool, volcanic ash.

### ABSTRACT

Modern technologies are not standing still, and scientists are trying not only to invent new building materials, but also to find non-standard use of various raw materials that were previously considered unsuitable for use. Innovative technologies are actively used for modern construction of buildings, in particular, some types of new materials are used in the construction of various facilities. This is especially true in areas where it is not possible to import or use ordinary building materials for various reasons.

Often, when designing a building, developers are wondering whether it is worth making the house warm during construction, and which insulation for the walls of the house is better to choose. This article addresses the question of which insulation for walls is most suitable for construction. The most common are mineral insulation, which are represented on the market today in the form of basalt slabs, fiberglass, etc. They have such advantages as low thermal conductivity, good thermal insulation and vapor permeability. The article presents a table with comparative performance characteristics of a mineral wool stone slab and a fiberglass slab.

Stone or basalt wool has several advantages. It is able to withstand significant temperatures and temperature changes, the mats are easy to transport, convenient to install. In our opinion, a serious alternative to basalt in the production of thermal insulation materials is volcanic ash. One of the main features of volcanic ash are its building qualities, such as good thermal insulation and an environmentally friendly composition. Since here we are considering the possibility of producing insulation materials based on volcanic ash, we performed a thermal calculation of the enclosing structures. Also in the tables are the costs of transportation of volcanic ash from the field to the point of the proposed production of insulating material.

Volcanic ash can be widely used in countries with high volcanic activity as an inexpensive raw material for the manufacture of building materials. It does not require additional processing and has a number of useful properties.

© PNRPU

## Введение

Развитие современных технологий не стоит на месте, и ученые стараются не только изобретать новые строительные материалы, но и находить нестандартное применение различного сырья, которое ранее считалось непригодным для использования. Кроме того, строительные материалы будущего должны совмещать прочность и жесткость, износостойчивость, практичность, долговечность и экологичность, а заказчики строительной продукции предпочитают, чтобы материалы были на 90–100 % натуральными [1].

## Основная часть

Зачастую застройщики при проектировании здания задаются вопросом: стоит ли производить утепление дома при строительстве и какой утеплитель для стен дома лучше выбрать?

Многие эксперты утверждают, что лучше всего производить строительство дома без дополнительного утепления. Для северных регионов необходимо, чтобы толщина стен дома соответствовала требованиям энергоэффективности. Рассчитать оптимальную толщину стен, чтобы в ней не образовывался конденсат и в доме зимой всегда было тепло, поможет теплотехнический расчет. Если все-таки решено использовать утеплитель при строительстве дома с ограждающими конструкциями, удовлетворяющими только требованиям прочности стен, то следует рассмотреть все варианты теплоизоляции более детально.

Наиболее распространенными являются минеральные утеплители, которые сегодня представлены на рынке в виде плит из базальта, стекловолокна и т.п. К преимуществам данных утеплителей относят хорошую теплоизоляцию, паропроницаемость и низкую теплопроводность. Теплоизоляция для стен и различных вертикальных конструкций в виде матов есть в линейке у каждого производителя: УРСА, РОКЛАЙТ, КНАУФ, ТЕХНОНИКОЛЬ, ИЗОВОЛ, ИЗОРОК и т.д. В табл. 1 представлены эксплуатационные характеристики теплоизоляционных материалов (СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»).

Таблица 1

Эксплуатационные характеристики теплоизоляционных материалов

Table 1

Operational characteristics of insulating materials

Название параметра	Плита минераловатная каменная	Плита из стеклянного волокна
Влажность, %	2–5	2–5
Теплопроводность, Вт/м·°С	0,045–0,048	0,046–0,05
Теплоусвоение (при периоде 24 ч), Вт <sup>2</sup> /м·°С	0,74–0,81	0,51–0,57
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,3	0,5

Кроме того, каменная вата выдерживает многие виды химических и биологических воздействий. На поверхности не образовывается плесень, грибок, не распространяется инфекция. С находящимися рядом химически активными веществам иона в реакцию не вступает [2].

Качественная вата, каменная или базальтовая, обладает рядом преимуществ. Она способна выдержать значительные температуры и перепады. После нагревания в атмосферу не выделяется никаких вредных веществ. Состав не притягивает загрязнения и устойчиво их переносит. Плиты легко транспортировать, удобно производить монтаж [3].

Каменная вата на базальтовой основе относится к категории минеральных и произведена на основе горных (каменных) пород, в том числе базальта.

В зависимости от производителя средняя цена утеплителя в Магаданской области колеблется от 2 до 4 тыс. руб. за 1 м<sup>2</sup> при толщине от 50 до 150 мм [4].

На наш взгляд, серьезной альтернативой базальту при производстве теплоизоляционных материалов выступает вулканический пепел, поскольку и базальт, и пепел являются вулканическими породами.

Вулканический пепел – один из продуктов измельчения магмы. Состоит из частей пыли и песка менее 2 мм в диаметре. Выбрасывается в воздух при извержениях вулканов, а затем оседает на земле.

Одной из основных особенностей вулканического пепла являются его строительные качества, такие как хорошая теплоизоляция и экологическая безопасность.

Вулканический пепел представляет собой рыхлую тонкообломочную породу с размерами частиц менее 5 мм, состоящих из вулканического стекла и кристаллов различных горных пород, преимущественно мелких зерен вулканического шлака и пемзы [5].

Месторождения вулканического пепла имеются на Камчатском полуострове, в Закавказье и на Северном Кавказе. Например, Кенженское и Каменское месторождения Кабардино-Балкарии располагают запасами вулканического пепла 20–25 млн м<sup>3</sup> [6].

Химический состав вулканического пепла может колебаться от кислого (68–72 % SiO<sub>2</sub>) до основного (48–52 % SiO<sub>2</sub>). Объемная масса вулканического пепла 500–1300 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность 2,8 г/см<sup>3</sup>, пустотность 50–55 %, пористость 50–70 %, водопоглощение до 35 %. Для сравнения приведем химический состав базальта: SiO<sub>2</sub> 45–52 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15–18 %, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 8–15 %, CaO 6–12 %, MgO 5–7 %. Как видим, по химическому составу они схожи [7].

Вулканический пепел применяется сельскими строителями в качестве мелкого заполнителя в керамзитобетоне, в качестве заполнителя в плотных и поризованных конструкционно-теплоизоляционных пеплобетонах марок 50–100 объемной массой 1200–1550 кг/м<sup>3</sup> и в штукатурных растворах [8].

В рамках данного исследования нами выбрана Магаданская область, где имеются месторождения вулканических пеплов. Приведем их краткую характеристику.

Хасынское и Уптарское месторождения вулканических пеплов находятся в 60 и 40 км к северу от Магадана, они открыты в 30–40-е гг. прошлого века. Месторождение Хасынское (Красавинское) – 60°02'52" с.ш., 150°47'23" в.д., расположено на правом берегу руч. Красавица в 2 км к северо-востоку от пос. Стекольный. Мощность верхней залежи от 0,4 до 20,3 м, длина 750 и ширина до 530 м. Мощность нижней залежи до 6 м, длина 1100 и ширина до 500 м. Мощность вскрыши от 1 до 24 м. В западной части месторождения обе залежи сливаются, образуя единое тело мощностью 30 м. Преобладает белый и серо-белый вулканический пепел, на 99,8 % состоящий из обломков кислого вулканического стекла. Плотность пеплов 2,33, объемная масса 1,50–1,82 г/см<sup>3</sup>, естественная влажность 20,8–36,2 %, температура плавления до 1200 °С. По состоянию на 1.01.1992 запасы в целом по месторождению по категориям А+В+С1 составляют 3757 тыс. м<sup>3</sup>. Отработка месторождения проводилась открытым способом. Сейчас месторождение законсервировано.

В естественном залегании вулканические пеплы представляют собой снежно-белые тонкозернистые и тонкопористые рыхлые, постоянно сухие (гидрофобные) породы, относительно слабосцементированные, но способные удерживать вертикальные стенки. Они легко режутся ножом, в руке рассыпаются в мелкий порошок с едва ощутимой зернистостью [9, с. 19].

Вулканический пепел может применяться в естественном виде (в строительстве), но чаще используется вспученный перлит. Использование перлита в строительстве позволяет повысить характеристики тепло-, звукоизоляции и пожаробезопасности возводимых сооружений, значительно сократив при этом массу и объемы конструкций. По заключению Киевского НИИ стройматериалов, хасынский вулканический пепел является наилучшим в мире сырьем для производства облегченных бетонов и теплоизоляторов. Достоинство магаданских пеплов в том, что, в отличие от камчатских, они не требуют измельчения и обогащения и при нагревании до 1000 °С превращаются в тонкодисперсный вспученный белый порошок. Сейчас Хасынское месторождение не обрабатывается, а подвергается эрозионному разрушению за счет выноса пепла временными водными потоками. Аналогов

данным месторождениям в России нет. Возможные покупатели пепла и продукции на его основе за рубежом – Корея, Китай [10, с. 61].

Исследователи считают, что если заменить составляющие цемента измельченной вулканической породой, то это позволит снизить потребление энергии и выброс  $\text{CO}_2$  при производстве строительных материалов почти на 20 % [11].

Сегодня магаданские ученые располагают необходимой базой для полноценных исследований вулканического пепла. В активе сотрудников современное оборудование, которое позволяет анализировать все на местах, не отправляя образцы в другие институты России или зарубежья [12, 13].

Поскольку нами рассматривается возможность производства теплоизоляционных материалов на основе вулканического пепла [14], необходимо выполнить теплотехнический расчет ограждающих конструкций [15].

## **Теплотехнический расчет наружной стены здания**

### *I. Сбор исходных данных для города Магадана*

1. Расчетная температура наиболее холодных пяти суток (табл. 3.1, столб. 5 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»)

$$t_{\text{н}} = -29\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2. Средняя температура отопительного периода (табл. 3.1, столб. 12 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»)

$$t_{\text{от.пер}} = -7,5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

3. Продолжительность отопительного периода (табл. 3.1, столб. 11 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»)

$$z_{\text{от.пер}} = 279 \text{ дней}.$$

4. Расчетная температура внутреннего воздуха

$$t_{\text{в}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

5. Относительная влажность воздуха

$$\varphi = 50\text{ } \%$$

6. Влажностный режим помещения (прил. В, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»): сухой.

7. Зона влажности (табл. 1, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»): нормальная.

8. Условия эксплуатации (табл. 2, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»): А.

### *II. Определение градусосутки отопительного периода*

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер}}) \cdot z_{\text{от.пер}} = (20 - (-7,5)) \cdot 279 = 7672,5\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}, \quad (1)$$

где ГСОП – градусосутки отопительного периода,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}$ ;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха;  $t_{\text{от.пер}}$  – средняя температура отопительного периода,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $z_{\text{от.пер}}$  – продолжительность отопительного периода, дни.

По табл. 3 СП 50 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» определяем  $R_0^{\text{TP}}$ , используя интерполирование таблицы:

$$R_0^{\text{TP}} = R_{0\text{min}}^{\text{TP}} + \frac{(\text{ГСОП} - \text{ГСОП}_{\text{min}})}{\text{ГСОП}_{\text{max}} - \text{ГСОП}_{\text{min}}} (R_{0\text{max}}^{\text{TP}} - R_{0\text{min}}^{\text{TP}}) =$$

$$= 3,5 + \frac{7672,5 - 6000}{8000 - 6000} \cdot (4,2 - 3,5) = 4,09 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \quad (2)$$

где  $R_0^{\text{TP}}$  – требуемое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_{0\text{min}}^{\text{TP}}$  – минимальное сопротивление теплопередаче в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_{0\text{max}}^{\text{TP}}$  – максимальное сопротивление теплопередаче в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ; ГСОП – градусосутки отопительного периода,  $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ ; ГСОП<sub>min</sub> – минимальные градусосутки отопительного периода в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ ; ГСОП<sub>max</sub> – максимальные градусосутки отопительного периода в табл. 3 СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»,  $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$ .

III. Определение толщины утеплителя и приведенного сопротивления теплопередаче многослойной ограждающей конструкции

В табл. 2 представлены характеристики материалов принятой стены здания из кирпича толщиной 0,38 м.

Таблица 2

Характеристики материалов

Table 2

Characteristics of materials

№ п/п	Наименование материала	$\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$\delta$ , м	$\lambda$ , $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$	$R$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
1	ГКЛ	800	0,015	0,15	0,1
2	Кирпич трепельный	1200	0,38	0,47	0,809
3	Плита минераловатная каменная	200	$\delta_3$	0,046	$\delta_3/0,046$
4	Штукатурка	950	0,02	0,41	0,049

Находим требуемые условные сопротивления теплопередаче по формуле

$$R_0^{\text{TP, усл}} = \frac{R_0^{\text{TP}}}{r} = \frac{4,09}{0,87} = 4,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (3)$$

где  $R_0^{\text{TP, усл}}$  – требуемое условное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_0^{\text{TP}}$  – требуемое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый равным 0,87 (табл. 6 СП 23-10–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»).

Определяем требуемые значения сопротивления теплопередаче слоя утеплителя по формуле

$$R_{\text{утеп}}^{\text{TP}} = R_0^{\text{TP, усл}} - (R_B + \sum R_K + R_H), \quad (4)$$

где  $R_{\text{утеп}}^{\text{TP}}$  – требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_0^{\text{TP, усл}}$  – требуемое условное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\sum R_K$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции:  $\sum R_K = R_1 + R_3$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

$R_B$  – сопротивление тепловосприятию. В данном выражении заменяется коэффициентом теплоотдачи внутренней поверхности (табл. 4 СНиП II-3-79\*):

$$R_B = \frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{8,7}, \quad (5)$$

$R_H$  – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности, заменяется коэффициентом теплоотдачи наружной поверхности ограждения  $\alpha_H$ :

$$R_H = \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{23}. \quad (6)$$

Определяем требуемое сопротивление теплоотдаче слоя утеплителя:

$$R_{\text{утеп}}^{\text{тп}} = 4,7 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,15} + \frac{0,38}{0,47} + \frac{0,02}{0,41} + \frac{1}{23} \right) = 3,584 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad (7)$$

Рассчитываем толщину утеплителя:

$$\delta_{\text{утеп}} = R_{\text{утеп}}^{\text{тп}} \cdot \lambda_{\text{утеп}} = 3,584 \cdot 0,046 = 0,165 \text{ м}, \quad (8)$$

где  $\delta_{\text{утеп}}$  – толщина слоя утеплителя, м;  $R_{\text{утеп}}^{\text{тп}}$  – требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $\lambda_{\text{утеп}}$  – коэффициент теплопроводности слоя утеплителя,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ .

#### *IV. Определение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены*

$$R_0^{\text{тп}} = R_B + \sum R_K + R_H = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,15} + \frac{0,38}{0,47} + \frac{0,165}{0,046} + \frac{0,02}{0,41} + \frac{1}{23} = 4,703 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (9)$$

где  $R_0^{\text{тп}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $R_B$  – сопротивление тепловосприятию;  $R_H$  – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности;  $\sum R_K$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции:  $\sum R_K = R_1 + R_3$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

$$R_0 = R_0^{\text{тп}} \cdot r = 4,703 \cdot 0,87 = 4,092 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (10)$$

где  $R_0$  – сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $R_0^{\text{тп}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый равным 0,87.

Проверяем условие:  $R_0 \geq R_0^{\text{тп}} \Rightarrow 4,092 > 4,09$  – условие сопротивления теплопередаче выполнено, значит, толщина утеплителя подобрана верно.

#### *V. Проверка конструкции на невыпадение конденсата на внутренней поверхности ограждения*

Определяем температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\tau_b = t_b - \frac{n \cdot (t_b - t_h)}{R_0 \cdot \alpha_b} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-29))}{4,092 \cdot 8,7} = 18,62 \text{ °C}, \quad (11)$$

где  $\tau_b$  – температура внутренней ограждающей конструкции, °C;  $t_b$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;  $t_h$  – расчетная температура наиболее холодных пяти суток, °C;

$R_0$  – сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху ( $n = 1$ ).

Температура точки росы  $t_{\text{т.р}}$  равна  $9,3 \text{ °C}$ .

Проверяем условие:  $\tau_{\text{в}} > t_{\text{т.р}} \Rightarrow 18,62 > 9,3$  – условие невыпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения выполняется.

*VI. Определение толщины промерзания ограждающей конструкции (графическим методом)*

$$\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = \frac{1}{8,7} = 0,12; \quad \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,015}{0,15} = 0,1; \quad \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,38}{0,47} = 0,809;$$

$$\frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,165}{0,046} = 3,587; \quad \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02}{0,41} = 0,049; \quad \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{23} = 0,04.$$

Строим график и определяем глубину промерзания конструкции (рис. 1).

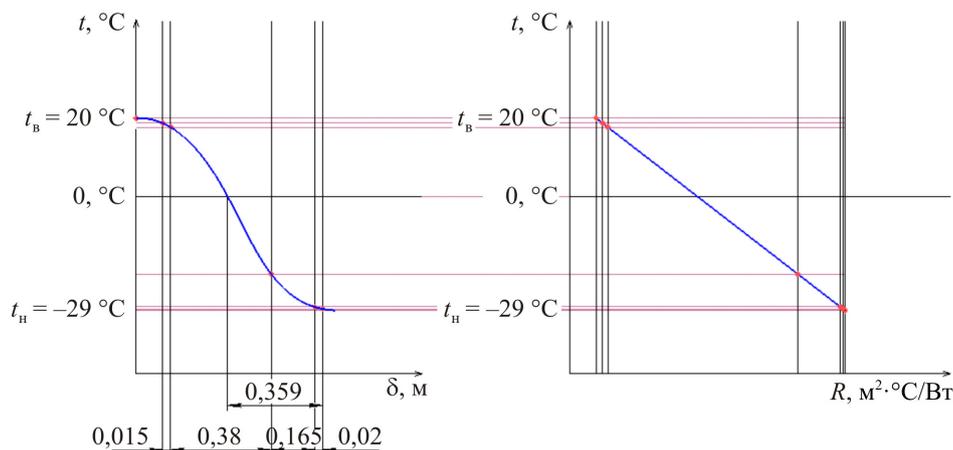


Рис. 1. График промерзания стены  
Fig. 1. The chart of freezing of the wall

Из графика видим, что глубина промерзания ограждающей конструкции  $\delta_{\text{пром}} = 0,359 \text{ м}$ .

*VII. Проверка ограждающей конструкции на температурный перепад*

Температурный перепад между температурой воздуха внутри помещения  $t_{\text{в}}$  и температурой ограждающей конструкции  $\tau_{\text{в}}$  не должен превышать нормированный  $\Delta t_{\text{н}}$ .

Проверяем условие:  $\Delta t_{\text{н}} \geq t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}} \Rightarrow \Delta t_{\text{н}} \geq 20 - 18,62 \Rightarrow \Delta t_{\text{н}} \geq 1,38$ ;

$\Delta t_{\text{н}} = 4 \text{ °C} \Rightarrow 4 > 1,38$  – условие выполняется.

Таким образом, температурный перепад выдержан.

В табл. 3 представлены характеристики материалов принятой стены здания из кирпича толщиной  $0,51 \text{ м}$ .

Находим требуемые условные сопротивления теплопередаче по формуле

$$R_0^{\text{тр.усл}} = \frac{R_0^{\text{тп}}}{r} = \frac{4,09}{0,87} = 4,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}, \quad (12)$$

где  $R_0^{тр.усл}$  – требуемое условное сопротивление теплопередаче,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $R_0^{тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый равным 0,87 (табл. 6 СП 23-10–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»).

Таблица 3

Характеристики материалов

Table 3

Characteristics of materials

№ п/п	Наименование материала	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м $\cdot$ °C	$R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт
1	ГКЛ	800	0,015	0,15	0,1
2	Кирпич трепельный	1200	0,51	0,47	0,809
3	Плита минераловатная каменная	200	$\delta_3$	0,046	$\delta_3/0,046$
4	Штукатурка	950	0,02	0,41	0,049

Определяем требуемые значения сопротивления теплопередаче слоя утеплителя по формуле

$$R_{утеп}^{тр} = R_0^{тр.усл} - (R_B + \sum R_K + R_H), \quad (13)$$

где  $R_{утеп}^{тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $R_0^{тр.усл}$  – требуемое условное сопротивление теплопередаче,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $\sum R_K$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции:  $\sum R_K = R_1 + R_3$ ,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ .

$R_B$  – сопротивление тепловосприятию. В данном выражении заменяется коэффициентом теплоотдачи внутренней поверхности (табл. 4 СНиП II-3–79\*):

$$R_B = \frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{8,7}. \quad (14)$$

$R_H$  – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности, заменяется коэффициентом теплоотдачи наружной поверхности ограждения  $\alpha_H$ :

$$R_H = \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{23}. \quad (15)$$

Определяем требуемое сопротивление теплоотдаче слоя утеплителя:

$$R_{утеп}^{тр} = 4,7 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,15} + \frac{0,51}{0,47} + \frac{0,02}{0,41} + \frac{1}{23} \right) = 3,308 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт. \quad (16)$$

Рассчитываем толщину утеплителя:

$$\delta_{утеп} = R_{утеп}^{тр} \cdot \lambda_{утеп} = 3,308 \cdot 0,046 = 0,152 \text{ м}, \quad (17)$$

где  $\delta_{утеп}$  – толщина слоя утеплителя, м;  $R_{утеп}^{тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя,  $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;  $\lambda_{утеп}$  – коэффициент теплопроводности слоя утеплителя,  $Вт / м^2 \cdot ^\circ C$ .

*VIII. Определение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены*

$$R_0^{\text{пр}} = R_B + \sum R_K + R_H = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,15} + \frac{0,51}{0,47} + \frac{0,152}{0,046} + \frac{0,02}{0,41} + \frac{1}{23} = 4,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (18)$$

где  $R_0^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $R_B$  – сопротивление тепловосприятию;  $R_H$  – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности;  $\sum R_K$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции:  $\sum R_K = R_1 + R_3$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

$$R_0 = R_0^{\text{пр}} \cdot r = 4,7 \cdot 0,87 = 4,09 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}, \quad (19)$$

где  $R_0$  – сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $R_0^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый равным 0,87.

Проверяем условие:  $R_0 \geq R_0^{\text{пр}} \Rightarrow 4,09 \geq 4,09$  – условие сопротивления теплопередаче выполнено, значит, толщина утеплителя подобрана верно.

*IX. Проверка конструкции на невыпадение конденсата на внутренней поверхности ограждения*

Определяем температуру внутренней ограждающей конструкции:

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0 \cdot \alpha_{\text{в}}} = 20 - \frac{1 \cdot (20 - (-29))}{4,09 \cdot 8,7} = 18,6 \text{ °C}, \quad (20)$$

где  $\tau_{\text{в}}$  – температура внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{°C}$ ;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ ;  $t_{\text{н}}$  – расчетная температура наиболее холодных пяти суток,  $\text{°C}$ ;  $R_0$  – сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;  $\alpha_{\text{в}}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности;  $n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху ( $n = 1$ ).

Температура точки росы  $t_{\text{т.р}}$  равна 9,3  $\text{°C}$ .

Проверяем условие:  $\tau_{\text{в}} > t_{\text{т.р}} \Rightarrow 18,6 > 9,3$  – условие невыпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения выполняется.

*X. Определение толщины промерзания ограждающей конструкции (графическим методом):*

$$\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = \frac{1}{8,7} = 0,12; \quad \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,015}{0,15} = 0,1; \quad \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,51}{0,47} = 1,09; \quad \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,152}{0,046} = 3,304;$$

$$\frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,02}{0,41} = 0,049; \quad \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{23} = 0,04.$$

Строим график и определяем глубину промерзания конструкции (рис. 2).

Из графика видим, что глубина промерзания ограждающей конструкции  $\delta_{\text{пром}} = 0,137 \text{ м}$ .

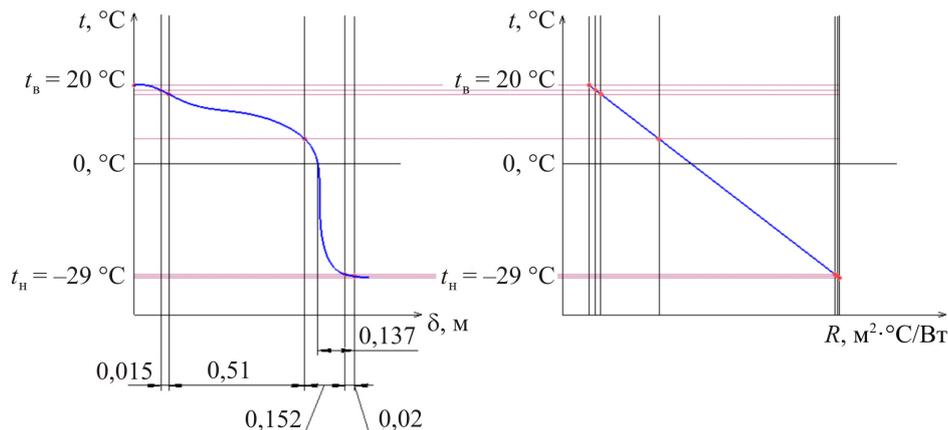


Рис. 2. График промерзания стены  
Fig. 2. The chart of freezing of the wall

### XI. Проверка ограждающей конструкции на температурный перепад

Температурный перепад между температурой воздуха внутри помещения  $t_b$  и температурой ограждающей конструкции  $t_v$  не должен превышать нормированный  $\Delta t_n$ .

Проверяем условие:  $\Delta t_n \geq t_b - t_v \Rightarrow \Delta t_n \geq 20 - 18,6 \Rightarrow \Delta t_n \geq 1,4$ ;

$\Delta t_n = 4^\circ\text{C} \Rightarrow 4 > 1,4$  – условие выполняется.

Таким образом, температурный перепад выдержан.

Рассмотрим расходы на транспортировку вулканического пепла от месторождения до пункта предполагаемого производства теплоизоляционного материала. Примем для транспортировки автомобиль марки МАЗ-6501С9 при условии, что автомобиль находится в лизинге. Среднее расстояние перевозки груза 80 км. Результаты расчета приведены в табл. 4–6.

Таблица 4

Результаты расчета по перевозке груза

Table 4

The results of the calculation of shipping

Показатели	Ед. изм.	Значение
Расстояние перевозки груза	км	80
Объем загрузки автомобиля	м <sup>3</sup>	20
Насыпная плотность материала	кг/м <sup>3</sup>	1500
Средняя скорость движения автомобиля по автодороге	км/ч	60
Среднее время на загрузке	мин	20
Среднее количество рабочих дней в месяце	дней	26
Среднее количество рабочих часов в сутках	ч	20
Стоимость топлива	руб./л	50
Средний расход топлива	л/100 км	60
Количество водителей, работающих на одном автомобиле	чел.	2
Средние расходы на ремонт и ТО на один автомобиль	тыс. руб./мес.	150
Лизинговые расходы на один автомобиль	тыс. руб./мес.	200
Прочие расходы, включая дорожные сборы на один автомобиль	тыс. руб./мес.	100
Налоговые выплаты, за исключением налогов с заработной платы		5 % от выручки
Плановая сумма прибыли на один автомобиль	тыс. руб./мес.	200

Таблица 5

Тариф на перевозку груза самосвалом

Table 5

Tariff for transportation of goods by dump truck

Наименование показателя	Абсолютное значение		Относительное значение	
	руб./м <sup>3</sup>	руб./т	руб./м <sup>3</sup> ·км	руб./т·км
Тариф на перевозку самосвалом на расстояние 50 км ( $V = 20 \text{ м}^3$ )	370	248	7,4	5

Таблица 6

Расходы на перевозку груза

Table 6

Shipping costs

Наименование показателя	Значение показателя	
	за сутки	за месяц
Пробег автомобиля, км	857	22 286
Среднее количество поездок	8,6	223
Средний объем перевезенного материала, м <sup>3</sup>	171	4457
Количество затраченного топлива, л	514	13 371
Расходы на перевозку, тыс. руб., в том числе:	63,7	1655
– расходы на топливо, тыс. руб.	30,9	802
– расходы на заработную плату водителей, включая налоги с з.п., тыс. руб.	4,6	120
– расходы на ремонт и ТО, тыс. руб.	5,8	150
– прочие расходы, тыс. руб.	3,8	100
– налоги, кроме налогов с заработной платы, тыс. руб.	3,2	83
– расходы на лизинг, тыс. руб.	7,7	200
Прибыль, тыс. руб.	7,7	200

## Заключение

Таким образом, вулканический пепел может широко использоваться в странах с высокой вулканической активностью в качестве недорогого сырья для изготовления стройматериалов. Он не требует дополнительной обработки и обладает рядом полезных свойств.

## Библиографический список

1. Vinokna.ru. Как эффективно использовать вулканический пепел? [Электронный ресурс]. – URL: [http://vinokna.ru/stat/3246\\_stat.html](http://vinokna.ru/stat/3246_stat.html) (дата обращения: 3.09.2018).
2. Makebestphoto.ru. Какой утеплитель лучше всего использовать [Электронный ресурс]. – URL: <https://makebestphoto.ru/uteplitel-bazaltovuj-harakteristiki-razmery-sfery-primeneniya> (дата обращения: 3.09.2018).
3. Teplota.guru. Как правильно выбрать базальтовую вату? [Электронный ресурс]. – URL: <https://teplota.guru/teploizolyatsiya/kak-pravilno-vybrat-bazaltovuyu-vatu.html> (дата обращения: 3.09.2018).
4. Magadan.tiu.ru. Вата минеральная в Магадане [Электронный ресурс]. – URL: <https://magadan.tiu.ru/Vata-mineralnaya/> (дата обращения: 3.09.2018).

5. 1rnd.ru. Вулканический пепел и его оригинальные свойства [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.1rnd.ru/list/90700> (дата обращения: 3.09.2018).
6. Stroimt.ru. Производство пористых заполнителей [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.stroimt.ru/village/porous/14.html> (дата обращения: 3.09.2018).
7. Geolib.net. Справочник по геологии [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.geolib.net/petrography/bazalt.html> (дата обращения: 3.09.2018).
8. Cement-city.ru. Вулканический пепел как новое сырье для строительства [Электронный ресурс]. – URL: <http://cement-city.ru/vulkanicheskij-pepel-kak-novoe-syryo-dlya-stroitelstva> (дата обращения: 3.09.2018).
9. Вулканические пеплы Примагаданья: петролого-геохимические особенности и возраст [Электронный ресурс] / Г.А. Шатков, О.Ю. Лебедева, А.В. Антонов, Н.Г. Бережная, П.А. Львов, Ю.С. Балашова, С.А. Сергеев // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 71. – С. 19–34. – URL: [https://vsegei.ru/ru/public/reggeology\\_met/content/2017/71/71\\_02.pdf](https://vsegei.ru/ru/public/reggeology_met/content/2017/71/71_02.pdf) (дата обращения: 3.09.2018).
10. Давыдова А.А. Перспективы развития производства строительных материалов в северном регионе (на примере Магаданской области [Электронный ресурс] // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. – 2011. – № 2. – С. 61–67. – URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2011/02/2011-02-10.pdf> (дата обращения: 3.09.2018).
11. Jborder.ru. Замена составляющих цемента пеплом позволяет снизить энергопотребление [Электронный ресурс]. – URL: <https://jborder.ru/nauka/vulkanicheskij-pepel-delaet-beton-bolee-ekologichnum> (дата обращения: 3.09.2018).
12. Vostokmedia.com. Вулканический пепел изучат магаданские ученые [Электронный ресурс]. – URL: <https://vostokmedia.com/news/society/19-07-2011/vulkanicheskij-pepel-izuchat-magadanskije-uchenye> (дата обращения: 3.09.2018).
13. Ru.wikipedia.org. Вулканический пепел [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BB](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BB) (дата обращения: 3.09.2018).
14. Teplogalaxy.ru. Базальтовый утеплитель [Электронный ресурс]. – URL: <https://teplogalaxy.ru/bazaltovyj-uteplitel> (дата обращения: 3.09.2018).
15. Лобатовкина Е.Г., Мягков М.С. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / Моск. архит. ин-т (гос. акад.). – М., 2016. – URL: [http://www.marhi.ru/kafedra/techno/physics/method\\_teplotech\\_2016.pdf](http://www.marhi.ru/kafedra/techno/physics/method_teplotech_2016.pdf) (дата обращения: 3.09.2018).

## References

1. Vinokna.ru. Как эффективно использовать вулканический пепел? [How to effectively use volcanic ash], available at: [http://vinokna.ru/stat/3246\\_stat.html](http://vinokna.ru/stat/3246_stat.html) / (accessed 3 September 2018).
2. Makebestphoto.ru. Какую утеплитель лучше всего использовать? [What insulation is best to use] [Электронный ресурс], available at: <https://makebestphoto.ru/uteplitel-bazaltovyj-harakteristiki-razmery-sfery-primeneniya/> (accessed 3 September 2018).
3. Teplota.guru. Как правильно выбрать базальтовую вату? [Как правильно выбрать базальтовую вату?], available at: <https://teplota.guru/teploizolyatsiya/kak-pravilno-vybrat-bazaltovuyu-vatu.html> / (accessed 3 September 2018).

4. Magadan.tiu.ru. Vata mineral'naya v Magadane [Cotton wool mineral in Magadan], available at: <https://magadan.tiu.ru/Vata-mineralnaya/> (accessed 3 September 2018).

5. 1rnd.ru. Vulkanicheskiy pepeli ego original'nyesvoystva [Volcanic ash and its original properties], available at: <https://www.1rnd.ru/list/90700/> (accessed 3 September 2018).

6. Stroimt.ru. Proizvodstvoporistykhzapolniteley [Production of porous aggregates], available at: <http://www.stroimt.ru/village/porous/14.html> (accessed 3 September 2018).

7. Geolib.net. Spravochnikpogeologii [Handbook of geology], available at: <https://www.geolib.net/petrography/bazalt.html> (accessed 3 September 2018).

8. Cement-city.ru. Vulkanicheskiypepelkaknovoesyr'yedlyastroitel'stva [Volcanic ash as a new raw material for construction], available at: <http://cement-city.ru/vulkanicheskij-pepel-kak-novoe-syryo-dlya-stroitelstva/> (accessed 3 September 2018).

9. Shatkov G.A., Lebedeva O. Yu., Antonov A.V., Berezhnaya N.G., L'vov P.A., Balashova Yu.S., Sergeev S.A. Regional'nayageologiyaimetallogeniya № 71/2017 str 20-21 [Regional geology and metallogeny], available at: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2011/02/2011-02-10.pdf> (accessed 3 September 2018).

10. Davydova A.A. Perspektivirazvitiyaproizvodstvastroitel'nykhmaterialov v severnomre-gione (naprimeremagadanskoyoblasti [Prospects for the development of production of building materials in the northern region (for example, Magadan region)]. *Vestnik VGU. Ekonomikaiu-pravlenie*, 2011, no. 2, pp. 61-67, available at: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2011/02/2011-02-10.pdf> (accessed 3 September 2018).

11. Jborder.ru. Zamenasostavlyayushchikhtsementapeplompozvolyaetsnizit' energopotreble-nie [Replacing cement components with ashes reduces energy consumption], available at: <https://jborder.ru/nauka/vulkanicheskij-pepel-delaet-beton-bolee-ekologichnym> (accessed 3 September 2018).

12. Vostokmedia.com. Vulkanicheskiypepelizuchatmagadanskieuchenye [Volcanic ash will be studied by Magadan scientists], available at: <https://vostokmedia.com/news/society/19-07-2011/vulkanicheskij-pepel-izuchat-magadanskije-uchenye/> (accessed 3 September 2018).

13. Ru.wikipedia.org. Vulkanicheskiypepel [Volcanic ash]. available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BB](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D0%BF%D0%B5%D0%BB) (accessed 3 September 2018).

14. Teplogalaxy.ru. Bazal'tovyy uteplitel' [Basalt insulation], available at: <https://teplogalaxy.ru/bazaltovyy-uteplitel> (accessed 3 September 2018).

15. E.G. Lobatovkina, M.S. Myagkov. Teplotekhnicheskij raschet ograzhdayushchih konstrukcij zhilyh i obshchestvennyh zdaniy [Heat engineering calculation of enclosing structures of residential and public buildings]. Moskovskij arhitekturnyj institut (gosudarstvennaya akademiya), 2016, available at: [http://www.marhi.ru/kafedra/techno/phisics/metod\\_teplo-tech\\_2016.pdf](http://www.marhi.ru/kafedra/techno/phisics/metod_teplo-tech_2016.pdf) (accessed 3 September 2018).