

УДК 691.32

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГОЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО БЕТОНА

Е.С. Бабурина, Т.А. Коряковцева

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Технический прогресс строительной отрасли создает тенденцию постоянно разрабатывать новые конструкции. Применение теплоизоляционных бетонов в составе наружных стен уменьшили тепловые потери здания. Для создания такого бетона чаще всего используют органические, синтезированные заполнители или вторичное сырье. В данной работе рассмотрена идея использования продуктов вторичного сырья, сыпучей добавки из древесного активированного угля, в качестве заполнителя бетонной смеси. Измерения коэффициента теплопроводности исследуемого бетонного композита размерами 250,7x243,2x30,9 мм проведены с помощью прибора ПИТ-2.1 во влажном и сухом состоянии до и после пребывания композита в климатической камере ускоренного действия - везерометре. Цикл работы камеры (20 суток) везерометра приравнивается к 16,5 годам в условиях реальной эксплуатации г. Санкт-Петербург. По результатам опыта коэффициент теплопроводности материала увеличился на 5,13% и 7,43% в сухом и влажном состоянии, следовательно, характеристики материала изменились, а теплотехнический расчет показал увеличение тепловых потерь на 2,5% и 2,86%.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплоизоляционный бетон, бетон с добавками, теплотехнические характеристики, сыпучая добавка, теплопроводность, везерометр.

Ссылка для цитирования: Бабурина Е.С., Коряковцева Т.А. Использование угольной добавки для создания теплоизоляционного бетона // Инженерные исследования. 2023. №3 (13). С. 3-11. EDN: DYFSAT.

USING CHARCOAL ADDITIVE TO CREATE HEAT-INSULATING CONCRETE

E.S. Baburina, T.A. Koriakovtseva

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. The technical progress of the construction industry creates a tendency to constantly develop new designs. The use of heat-insulating concrete as part of the exterior walls has reduced the heat loss of the building. Organic, synthesized aggregates or secondary raw materials are most often used to create new type of concrete. In this paper, the idea of using the products of secondary raw materials, the loose activated charcoal additive is considered as a filler of a concrete mixture. Measurements of the thermal conductivity coefficient of the investigated concrete composite with dimensions of 250,7x243,2x30,9 mm were carried out using the PIT-2.1 device in a wet and dry states before and after the composite stays in an accelerated climate chamber – an accelerated weathering machine. The operation cycle of the camera (20 days) of the weatherometer is equivalent to 16,5 years in real operation in Saint-Petersburg. According to the results of the experiment, the thermal conductivity coefficient of the material increased by 5,13% and 7,43% in dry and wet conditions, therefore, the characteristics of the material changed, and the thermal calculation showed an increase in heat losses by 2,5% and 2,86%.

Keywords: building envelope, heat-insulating concrete, concrete with additives, thermomechanical characteristics, granular additive, thermal conduction, accelerated weathering machine.

For citation: Baburina E.S., Koriakovtseva T.A. Using charcoal additive to create heat-insulating concrete // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.3 (13). Pp. 3-11. EDN: DYFSAT.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергетической эффективности является одной из важнейших задач при создании какого-либо объекта строительства. Наиболее энергозатратными являются системы отопления, так как из-за больших тепловых потерь через ограждающие конструкции приходится использовать достаточно мощное отопительное оборудование для поддержания требуемой температуры в помещениях. Ужесточение требований теплозащиты здания [1] поспособствовало расширению сырьевой базы, и, как следствие, созданию энергоэффективных ограждающих конструкций [2]. К примеру, качественные утеплители и отделка в составе стеновой конструкции способны сократить до 30-50% тепловых потерь здания, что делает их весьма востребованными на рынке. Исследование [3] показывает, что использование утеплителя толщиной 120-210 мм в составе наружной стеновой конструкции удерживает значение расчетного термического сопротивления выше требуемого на протяжении 60 лет при идеальных условия (т.е. без переувлажнения и плесневения материала). По достижению данного срока необходимо провести капитальный ремонт с полной заменой утеплителя и отделкой здания, в то время как несущая часть ограждающей конструкции способна эксплуатироваться 120-150 лет (если рассматривать бетонные и железобетонные типы зданий). Использование толстого слоя утеплителя и его последующая замена может быть экономически невыгодной. Решение данной проблемы видно в использовании специальных добавок для создания теплоизоляционного бетона.

Согласно ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия» теплоизоляционный бетон – бетон, предназначенный для изготовления теплоизоляционных изделий, устройства теплоизоляции чердаков, кровель, теплоизоляции стен, строительных конструкций. Высокие теплотехнические характеристики бетона достигаются за счет малой плотности и высокой пористости бетонной смеси. Для создания теплоизоляционного бетона используют растительные или синтезированные заполнители, которые делают бетон более пористым, но при этом оставляют его прочным и долговечным; иногда в качестве заполнителя выступают невостребованное вторичное сырье. Выбор заполнителя зависит от его доступности, стоимости, экологичности и безопасности использования.

Использование невостребованных отходов производства в качестве заполнителя бетонной смеси способствует улучшению экологической обстановки, снижению экономических затрат на добычу, производство и доставку отдельных материалов.

В данной работе в качестве заполнителя в бетонную смесь используется сыпучая добавка на основе отработанного древесного активированного угля из фильтров ФОПС. Древесный активированный уголь после очистки поверхностных сточных вод является сравнительно малозагрязненным материалом, обладающим существенной остаточной сорбционной способностью, что позволяет использовать его не только в почвогрунтах [4], но и в строительных бетонных композитах.

Цель работы – определить свойства бетонного композита с заполнителем из отработанного активированного угля.

Задачи:

1. Изучить свойства бетона в составе с заполнителем, в частности определить теплопроводность образца в сухом и во влажном состоянии с помощью прибора ПИТ-2.1;
2. Определить теплотехнические характеристики образца;
3. Провести испытания образца в везерометре Xenon Lamp Aging Test Chamber;
4. Повторно определить теплопроводность образца во влажном и сухом состоянии.

ИЗУЧЕНИЕ ПУБЛИКАЦИЙ

Эффективной мерой решения вопроса об энергосбережении является применение пассивных технологий, например стену Тромба-Мишеля; внедряя данную конструкцию можно добиться высоких результатов по повышению энергоэффективности [5]. Но, к сожалению, данная конструкция используется редко ввиду высоких экономических затрат на ее производство. В работе [6] автор приходит к выводу о необходимости дополнительно утеплять фасады и даже применять дополнительный слой теплоизоляции. Для утепления наружных стеновых конструкции целесообразно использовать сыпучую добавку из угля в составе бетонной смеси.

Активированный уголь – это углерод, полученный из углеродосодержащих исходных материалов, таких как бамбук, кокосовая шелуха, ивовый торф, древесина, кокосовое волокно, лигнит, уголь и нефтяной пек. Измельченный активированный уголь используют во многих отраслях строительства: он придает материалам повышенную прочность и пористость, а также низкую теплопроводность. Исследование [7] показывает, что улучшение эксплуатационных характеристик и долговечности бетона

связано с наличием в бетоне активированного угля. К тому же, данный материал безопасен для использования.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СОЗДАННОГО БЕТОННОГО КОМПОЗИТА

Для исследования была выбрана сыпучая добавка на основе отработанного древесного активированного угля. Данный материал обладает развитой пористостью, высокими адсорбционными свойствами [8]. В настоящее время бетон с добавкой из угля не применяется при строительстве зданий и сооружений.

Для создания бетонного композита было принято ввести 0,5% активированного угля от общего объема образца. Полный состав бетонного композита представлен в табл. 1. Размеры полученного бетонного композита 250,7x243,2x30,9 мм.

Таблица 1. Состав бетонного композита
Table 1. The composition of the concrete composite

Объем получаемой смеси, л	Цемент, г	Песок, г	ПАВ, г	Вода, г	Добавка, г
2,25	1546	2829	16	570	25

Коэффициент теплопроводности образца был измерен с помощью ПИТ-2.1 (рис. 1). Метод измерения заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец, длина и ширина которого определяются согласно инструкции, а толщина образца задается на графическом дисплее прибора. Исследуемый образец был помещен между двумя нагревательными пластинами, далее на дисплее были заданы значения толщины пластины – 30,9 мм, и средняя температура - 25°C. Во время расчета на дисплее отображается график текущей теплопроводности образца (рис. 2). При выходе на стационарный режим прибор изменит знак «≠» на «=» рядом со значением измеренной теплопроводности [9]. Образец был измерен по одному разу с каждой стороны в каждом состоянии, значения полученных коэффициентов представлены усредненные (табл. 2).



Рис. 1. Внешний вид прибора
Fig. 1. Appearance of the instrument



Рис. 2. Дисплей прибора
Fig. 2. Display of the instrument

Коэффициент теплопроводности образца измеряется прибором по формуле (1):

$$\lambda = \frac{P \cdot h}{S \cdot \Delta T} \quad (1)$$

- где P – мощность нагревателя;
- h – высота образца;
- S – площадь измерительного нагревателя;
- ΔT – разность температур нагревателей.

Таблица 2. Первое измерение бетонного композита
Table 2. The first measuring of the concrete composite

Показатель	Влажное состояние	Сухое состояние
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	1,48	1,17
Масса, г	4185,5	4080,1

Данный тип бетона имеет пористую структуру, поэтому при измерении теплопроводности во влажном состоянии необходимо учесть, что вода будет распределяться в порах. Во время своего эксплуатационного срока бетон не может постоянно находиться в состоянии постоянной влажности – это приведет к развитию плесени и потере прочности в конструкции.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Исходные данные для расчета:

- Климатические условия – г. Санкт-Петербург;
- Толщина наружной стены – 0,3 м.

Значение градусо-суток отопительного периода, °С·сут/год, определяется по формуле (2):

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} \quad (2)$$

где $t_{\text{от}}$, $z_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий указанных в таблице 3: по поз. 1 – по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20–22 °С).

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1,2)) \cdot 211 = 4473,2 \frac{\text{°С} \cdot \text{сут}}{\text{год}}$$

Требуемое сопротивление теплопередаче, $R_0^{\text{ТР}}$, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле (3):

$$R_0^{\text{ТР}} = a \cdot \text{ГСОП} + b \quad (3)$$

где a и b – коэффициенты значения которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012.

$$R_0^{\text{ТР}} = 0,00035 \cdot 4473,2 + 1,4 = 2,9656 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

Нормированное значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_0^{\text{НОРМ}}$, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле (4):

$$R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}} \cdot m_p \quad (4)$$

где m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. Принимается равным 1.

$$R_0^{\text{НОРМ}} = R_0^{\text{ТР}} = 2,9656 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$$

Расчетное термическое сопротивление ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле (5):

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимается по таблице 4 СП 50.13330.2012 равным 8,7 Вт/(м²·°С);

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, принимается по таблице 6 СП 50.13330.2012 равным 23 Вт/(м²·°С);

δ – толщина i -го слоя конструкции, м;

λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала i -го слоя конструкции, Вт/(м·°С).

Для сравнения берется бетона без добавок (контрольный) с плотностью $\rho=2400$ кг/м³, коэффициентом теплопроводности в условиях эксплуатации Б равный $\lambda=1,86$ Вт/(м·°С) (по СП 50.13330.2012) имеющий массу (при размере бетона 250,7х243,2х30,9 мм):

$$m = \rho \cdot V = 2400 \cdot \frac{(250,7 \cdot 243,2 \cdot 30,9)}{10^6} = 4521 \text{ г}$$

Расчетное термическое сопротивление:

$$R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{1,86} + \frac{1}{23} = 0,32 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Количество тепла, Q, кВт·ч, теряемое зданием через ограждающую конструкцию с термическим сопротивлением R, площадью стены S=1 м², с температурным перепадом Δt (между помещением и улицей), в течение отопительного периода T для г. Санкт-Петербург рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{S \cdot \Delta t \cdot T}{R} = \frac{1 \cdot (20 - (-24)) \cdot (211 \cdot 24)}{0,32} = 696,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расчет термического сопротивления бетонного композита в сухом состоянии:

$$R = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{1,17} + \frac{1}{23} = 0,41 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Тогда:

$$Q = \frac{1 \cdot (20 - (-24)) \cdot (211 \cdot 24)}{0,41} = 543,45 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Повторим те же действия с композитом во влажном состоянии. Результаты сведены в табл. 3.

Температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха – t_н, °С, принимаемой в соответствии с пояснениями к формуле (5.4) по СП 50.13330.2012.

Относительную влажность внутреннего воздуха для определения точки росы следует принимать 55%. Тогда температура точки росы равна:

$$t_{\text{т.росы}} = 10,69 \text{ (°C)}$$

Температура внутренней поверхности стены определяется по формуле (6):

$$t_{\text{вн.пов.}} = t_{\text{в}} - K \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\alpha_{\text{в}}} \tag{6}$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C), определяемый по формуле (7):

$$K = \frac{1}{R_0^{\text{расч}}} \tag{7}$$

Расчет обычного бетона в условиях эксплуатации Б:

$$K = \frac{1}{0,32} = 3,125 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$t_{\text{вн.пов.}} = 20 - 3,125 \cdot \frac{20 - (-24)}{8,7} = 4,2 \text{ °C}$$

Расчет бетонного композита в сухом состоянии:

$$K = \frac{1}{0,41} = 2,439 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$t_{\text{вн.пов.}} = 20 - 2,439 \cdot \frac{20 - (-24)}{8,7} = 7,7 \text{ °C}$$

Аналогично проведем расчет бетонного композита во влажном состоянии. Результаты и разница с контрольным образцом сведены в табл.3.

Таблица 3. Результаты расчета
Table 3. The measuring results

		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·°C)	Термическое сопротивление, (м ² ·°C)/Вт	Тепловые потери через стену, кВт·ч	Температура внутренней поверхности стены, °C
Обычный бетон в условиях эксплуатации Б		1,86	0,32	696,3	4,2
Бетонный композит	В сухом состоянии	1,17	0,41	543,45	7,7
	Во влажном состоянии	1,48	0,36	618,93	6
	Разница в сухом состоянии, %	-37,1	+28,13	-21,95	+83,33
	Разница во влажном состоянии, %	-20,43	+12,5	-11,11	+42,86

Теплотехнический расчет показывает, что бетонный композит имеет большее термическое сопротивление и температуру внутренней поверхности стены, чем обычный бетон, как в сухом, так и во влажном состоянии. Тепловые потери бетонного композита сократились на 21,95% и 11,11% в сухом и во влажном состоянии соответственно. А масса бетонного композита меньше на 441 г (на 9,75%) при одинаковых размерах. В то же время для соблюдения всех требований теплозащиты необходимо использовать данный композит с утеплителем.

ИСПЫТАНИЕ НА СТАРЕНИЕ

Испытания на атмосферостойкость проводились с помощью прибора Xenon Lamp Aging Test Chamber (рис. 3) на базе СПбПУ. Климатическая камера представляет собой комплексное устройство для климатических испытаний на старение, в котором используется ксеноновая дуговая лампа для улучшения испытаний материалов на деградацию в зависимости от световой энергии, температуры и влажности, имитируя полный спектр солнечного света. На основании стандарта ASTM G154 был выбран цикл со следующим графиком: 8 часов УФ-излучения при температуре черной панели 65°C (±3°C), затем 4 часа при 100% относительной влажности и температуре черной панели 55°C (±3°C) [10]. Все данные для расчета задавались на дисплее (рис. 4).



Рис. 3. Камера для испытаний на старение
 Fig. 3. Xenon Lamp Aging Test Chamber



Рис. 4. Дисплей прибора
 Fig. 4. Display of the instrument

Расчет времени пребывания образца в камере составлен на основе комбинации из нескольких коэффициентов ускорения старения. Для расчета коэффициента ускорения была использована пропорция между общей УФ-энергией во время старения и естественным процессом старения на открытом воздухе. Согласно [11], формула (8) для расчета комбинированного коэффициента старения:

$$F_{UV+t/RH} = \frac{1}{3}(AF_{T1} \cdot AF_H) + \frac{2}{3}(AF_{T2} \cdot AF_{UV}) \quad (8)$$

где AF_{T1} – коэффициент температурного ускорения в течении 4-часового испытательного цикла, когда достигались высокие значения температуры и относительной влажности;

AF_H – коэффициент ускорения влажности;

AF_{T2} – коэффициент температурного ускорения в течении 8-часового испытательного цикла при высокой температуре и УФ-излучении.

AF_{UV} – коэффициент ускорения УФ-излучения.

Расчет коэффициента температурного ускорения проводится на основе уравнения Аррениуса (9):

$$AF_T = e^{-\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_U} \right)} \quad (9)$$

где E_A – энергия активации механизма. Это минимальная энергия, необходимая для инициирования химической реакции, зависит от самого материала [12, 13];

K – постоянная Больцмана;

T_A – температура ускорения в Кельвинах;

T_U – температура условий эксплуатации в Кельвинах.

Для расчета коэффициента ускорения и времени, необходимого пребывания образца в условиях испытаний, учитывается температура испытания 65°C, а температура условий эксплуатации принимается 15°C.

Коэффициент ускорения по влажности рассчитывается на основе модели Пека [13]. Это модель с двумя факторами воздействия, основанная на температуре и относительной влажности. Таким образом, исследуется влияние каждого напряжения на свойства образцов, и испытание на старение моделируется как комбинация двух различных процессов старения, по формуле (10):

$$F_{TH} = AF_T \cdot AF_H \quad (10)$$

где AF_H – коэффициент ускорения влажности, рассчитывается по формуле (11):

$$AF_H = \left(\frac{RH_A}{RH_U} \right)^m \quad (11)$$

где RH_A – относительная влажность, принимается равной 100%;

RH_U – относительная влажность в естественных климатических условиях, принимается 40%;

m – константа влажности, равная 2,66.

Коэффициент ускорения УФ-излучения рассчитывается по формуле (12):

$$AF_{UV} = \frac{\Phi_A}{\Phi_U} \quad (12)$$

где Φ_A – общая энергия УФ-излучения при ускоренном старении, равная 1200 кВт/м²;

Φ_U – энергия УФ-излучения при естественном старении на открытом воздухе (усредненное значение солнечной радиации в час за 5 лет). Значение принимается равным 95,89 кВт/м².

$$AF_{T1} = e^{-\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_{A1}} - \frac{1}{T_U} \right)} = 2,178^{-\frac{70000}{8,314} \left(\frac{1}{338} - \frac{1}{288} \right)} = 75,5$$

$$AF_{T2} = e^{-\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_{A2}} - \frac{1}{T_U} \right)} = 2,178^{-\frac{70000}{8,314} \left(\frac{1}{328} - \frac{1}{288} \right)} = 35,33$$

$$AF_H = \left(\frac{100}{40} \right)^{2,66} = 11,44$$

$$AF_{UV} = \frac{1200}{95,89} = 12,51$$

Тогда значение комбинированного коэффициента старения равно:

$$F_{UV+t/RH} = \frac{1}{3} (75,5 \cdot 11,44) + \frac{2}{3} (35,33 \cdot 12,51) = 584,03$$

Таким образом, эксплуатация длительностью 5 лет (43800 ч) будет воспроизведена в везерометре за 75,0 часов, что составит 3,1 суток или 6 циклов по 12 часов.

Образец был выдержан в камере на протяжении 20 циклов по 12 часов, следовательно, он состарился на 16,5 лет.

Для проведения измерений теплопроводности при такой выдержке образец извлекали из камеры влажности, обертывали полиэтиленовой пленкой для сохранения влажности образца и через несколько часов по достижению комнатной температуры была измерена их теплопроводность.

Результаты повторных измерений в ПИТ-2.1 и разница теплопроводности до и после использования камеры представлены в табл. 4.

Таблица 4. Повторное измерение образца
Table 4. The second measuring of the concrete composite

Показатель	Влажное состояние	Сухое состояние
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	1,59	1,23
Изменение коэффициента теплопроводности, %	+7,43	+5,13
Масса, г	4170,18	4026,9
Изменение массы, %	-0,37	-1,3

Повторный теплотехнический расчет бетонного композита сведен в табл. 5.

Таблица 5. Результаты повторного расчета
Table 5. The second measuring results

		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м ² ·°С)	Термическое сопротивление, (м ² ·°С)/Вт	Тепловые потери через стену, кВт·ч	Температура внутренней поверхности стены, °С
Первый расчет	В сухом состоянии	1,17	0,41	543,45	7,7
	Во влажном состоянии	1,48	0,36	618,93	6
Повторный расчет	В сухом состоянии	1,23	0,40	557,04	7,4
	Во влажном состоянии	1,59	0,35	636,62	5
Разница в сухом состоянии, %		+5,13	-2,44	+2,5	-3,9
Разница во влажном состоянии, %		+7,43	-2,78	+2,86	-16,67

Как видно из таблицы, коэффициент теплопроводности бетонного композита увеличился на 5,13% и 7,43% после испытаний в везерометре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были установлено, что добавление 0,5% сыпучей добавки в бетонную смесь увеличило пористость бетона, уменьшило его вес на 9,75%, коэффициент теплопроводности увеличился на 37,1% и 20,43%, тепловые потери уменьшились на 21,95% и 11,11% в сухом и во влажном состоянии соответственно. После 20 циклов в везерометре или 16,5 лет условий реальной эксплуатации бетонный композит ухудшил свои характеристики: коэффициент термического сопротивления увеличился на 5,13% и 7,43%, термическое сопротивление уменьшилось на 2,44% и 2,78%, тепловые потери увеличились на 2,5% и 2,86% в сухом и во влажном состоянии соответственно. Температура внутренней поверхности стены во всех расчетах была ниже точки росы.

Применение данного заполнителя поспособствовало уменьшению веса конструкции и улучшению его теплоизоляционных свойств. Сопротивление теплопередаче у бетонного композита выше, чем у обычного бетона, но всё так же не соответствует требованиям тепловой защиты. Использование данного вида бетона целесообразно применять совместно с тонким слоем утеплителя.

ИНФОРМАЦИЯ О ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ

Статья выполнена при поддержке Российского научного фонда, соглашение 21-79-10283 от 29.07.2021 <https://rscf.ru/project/21-79-10283/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.С., Ливчак В.И. История, эволюция и развитие нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №3(30). С. 7-37. EDN TUHVST.
2. Атамуротов О.Э., Самандаров А.И., Юсупова Л.Ш. Энергоэффективные ограждающие конструкции // Scientific progress. 2021. №2(3). С. 170-174. ISSN: 2181-1601.
3. Иванцов, А. И., Куприянов В. Н. Прогнозирование срока службы наружных стен жилых зданий по критерию теплозащиты // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 4(30). С. 139-147. EDN TSMOVZ.
4. Фёдоров М.П., Масликов В.И., Чечевичкин А.В., Чечевичкин В.Н., Якунин Л.А. Применение отработанных сорбентов очистки поверхностных сточных вод для интенсификации роста растений // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 7. С. 26-31. DOI 10.18412/1816-0395-2021-7-26-31. EDN IDCDQK.
5. Зубарев К.П., Зобнина Ю.С. Анализ особенностей исполнения стены Тромба-Мишеля // Перспективы науки. 2022. № 8(155). С. 98-102. EDN DBHTBV.
6. Гамаюнова О.С. Выбор оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 16(68). С. 89-97. EDN ANXMJJ.
7. Шабанов Е.А., Гилязидинова Н.В. Исследование свойств бетонных смесей с применением отходов угледобычи для строительства шахт // Инновации и инвестиции. 2020. № 9. С. 240-244. EDN ICSZZI.
8. Aiswarya S, Malvin T Moses, Lloyd Bennet Thomas J.S., Dev and G. V. Prospective Benefits of Using Activated Carbon in Cement Composites- An Overview // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). 2019. № 3(10). С. 289–296. DOI: 10.34218/IJARET.10.3.2019.027

9. Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д. Испытания экологического бетонного композита на основе растительной добавки и угольного фильтра // Строительство и техногенная безопасность. 2023. № 30(82). С. 47-57. EDN TVFVAF.

10. Berardi U., Nosrati R.H. Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions // Energy. 2018. Vol. 147. P. 1188-1202. DOI: 10.1016/j.energy.2018.01.053

11. Jelle BP. Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory. J Mater Sci 2012; DOI: 10.1007/s10853-012-6349-7.

12. Aegerter M.A., Leventis M.M.K. Aerogels handbook. Springer Science & Business Media. 2011.

13. Escobar L, Meeker WQ. A review of accelerated test models. Stat Sci 2007. DOI: 10.1214/088342306000000321.

ОБ АВТОРАХ

Елена Сергеевна Бабурина – студент магистратуры. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: baburina.es@edu.spbstu.ru

Татьяна Александровна Коряковцева – кандидат технических наук, доцент Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства (ВШГиЭС), Инженерно-строительный институт, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: tamusorina@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS

Elena S. Baburina – Master’s student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: baburina.es@edu.spbstu.ru

Tatiana A. Koriakovtseva – PhD, associate professor of the Higher School of Hydrotechnical and Energy Construction, Institute of Civil Engineering. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: tamusorina@mail.ru