

УДК 624

## ИСПЫТАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЕТОННОГО КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДОБАВКИ И УГОЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Коряковцева<sup>1</sup> Т.А., Заборова<sup>1</sup> Д.Д.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ);  
г. Санкт-Петербург, Россия,  
tamusorina@mail.ru, zaborova-dasha@mail.ru

**Аннотация.** Для создания комфортного микроклимата в помещениях необходимо соблюдать требования по тепловой защите здания, что требует подбора материалов ограждающих конструкций. С этой целью используются различные добавки в бетон: измельченный инвазивный сорняк (борщевик) и отработанные в процессах водоочистки угольные сорбционно-фильтрующие материалы. Это позволяет создать экологический строительный материал, уменьшить количества расходуемого цемента.

**Предмет исследования:** бетонный композит с добавками, обладающий повышенными теплотехническими и механическими свойствами.

**Материалы и методы:** объект исследования - Разработаны семь серий различных сочетаний добавок, для которых на установках Instron 5965 и ПИТ 2.1 экспериментально определяются механические и теплотехнические характеристики. Произведена оценка пористой структуры образцов с помощью микроскопического исследования.

**Результаты:** Улучшена теплопроводность нового материала на 12,3%. Из всех изученных образцов наименьшую потерю прочности (12,8%) имел образец с содержанием активированного угля 1%. Положительным эффектом от использования активированного угля является создание пластичного материала, который при достижении максимальной нагрузки не разрушается и продолжает держать форму. Микроскопические исследования образцов позволили обнаружить увеличение размера пор и их количество с увеличением содержания угля в образцах.

**Выводы:** Созданный бетонный композит может быть использован в жилом и гражданском строительстве зданий и сооружений, поскольку в сухом виде борщевик не опасен, не выделяет токсичных веществ, а добавки измельченных отработанных сорбционных материалов на основе активированных углей увеличивают вязкость бетонной смеси. Использование борщевика в бетонных изделиях будет способствовать дополнительному коммерческому интересу в борьбе с инвазивным растением, которая ведется в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Утилизация отработанных угольных сорбционных материалов в составе бетонных композитов является важным звеном в решении проблемы переработки отходов и улучшении экологической обстановки региона.

**Ключевые слова:** строительные материалы, добавки в бетон, трехточечный изгиб, теплопроводность, борщевик, отработанные угольные сорбционные материалы

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность рассматриваемой проблемы.** Оценка жизненного цикла зданий показывает, что 70–80% всех выбросов CO<sub>2</sub> приходится именно на стадию производства материалов, поэтому, подбирая строительный материал, важно учитывать не только прочностные и теплофизические свойства, но и воздействие материала на окружающую среду [1-2]. Учет влияния вредного воздействия составляющих материала на окружающую среду может привести к уменьшению углеродного следа, сокращению отходов при производстве материала. Для этого необходимо, чтобы каждый отечественный производитель строительных материалов предоставлял доступ к экологической декларации продукта. Это позволяет оценить оценку жизненного цикла материала [3]. Для создания комфортного микроклимата в помещении необходимо обеспечить тепловую защиту здания. Для этого проводится теплотехнический расчет [4-7] на основании которого выбираются соответствующие энергоэффективные материалы и конструкции [8-10], а также выбор оптимального с точки зрения энергосбережения режима эксплуатации здания [11]. Одной из составляющих правильного решения проблемы являются представления о том, как происходит тепломассоперенос в различных

конструкциях зданий [12]. С целью оптимизации теплофизических и механических свойств бетонных композитов в настоящее время изучаются применения различных добавок. При производстве новых энергоэффективных строительных материалов следует шире использовать вторичное сырье, рассматривая его не как отходы производства, а как ценное сырье [13-17].

Растительные материалы или продукты на их основе издавна используются в строительстве. Инвазивный сорняк (борщевик Сосновского), занесенный на территорию Ленинградской области в 1960-1970х гг., сегодня представляет реальную угрозу естественной растительной флоре и фауне, а также здоровью людей. Борьба с ним включает его утилизацию и одним из подходов в этой области является добавление щепы борщевика в бетонную смесь. Меньшее количество цемента в бетонном композите может привести к уменьшению углеродного следа, не понижая прочностные характеристики материала.

Древесный активированный уголь, является продуктом переработки растительного сырья и обладает рядом полезных свойств: высокая пористость, сорбционная активность, пластифицирующая способность. Свежий древесный активированный уголь довольно дорог и используется для очистки пищевых продуктов (питьевая вода, масла и т.д.), однако, отработанный уголь, особенно после очистки сточных вод, в

больших количествах доступен для использования его в строительных материалах. 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 [18], но и в строительных бетонных композитах.

Фильтры очистки поверхностного стока ФОПС (запатентованная марка) предназначены для очистки поверхностных (талых и ливневых) вод с автодорог, селитебных территорий и территорий промышленных предприятий [19]. В отработанном виде они являются источником значительного количества активированного угля [20]. Технология применения этих фильтров совместно развивается компанией ООО «Аква-Венчур», ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и ФГАОУ ВО «СПбГПУ Петра Великого» [21]. Фильтры очистки поверхностного стока ФОПС состоят из корзины для мусора и самого фильтра [22-24]. Содержание фильтра зависит от его назначения к применению. В отработанном виде фильтры являются источником большого количества активированного угля. Один фильтр ФОПС может содержать (в зависимости от модели) активированный уголь массой до 800 кг. Учитывая широкое применение фильтров ФОПС в России количество отработанного угля будет возрастать и проблема его утилизации становится крайне актуальной. В процессе работы была предпринята попытка создать бетонный композит с добавками на основе борщевика и отработанного активированного угля из фильтров ФОПС. Для этого были исследованы 3 состава бетонной смеси с разным процентным отношением в объемной доле угля к цементу в бетонном композите, из которых выбирали наиболее эффективный состав (1%, 2%, 3% угля от объемной доли цемента), также проводились сравнения полученных теплотехнических и механических свойств бетонных композитов. В статье [25] ранее были рассмотрены сферы использования активированного угля, также представлено исследование влияния его в бетоне на свойства и характеристики смеси. Был проведен расчет негативного влияния на окружающую среду нового бетонного композита с растительной добавкой и разным процентным соотношением активированного угля. Таким образом, используя растительные добавки, можно уменьшить количество цемента в композите, что снизит



А – до измельчения

углеродный след используемых строительных материалов.

**Цель работы** – создать бетонный композит с растительно-угольными добавками, обладающий повышенными теплотехническими и механическими свойствами.

#### **Задачи исследования:**

1. Создание бетонного композита на основе вторичного сырья: с растительной добавкой (сухой борщевик) и отработанного сорбционного материала на основе активированного угля из фильтра ФОПС (запатентованная марка).

2. Изучение теплотехнических и механических свойств полученных бетонных композитов.

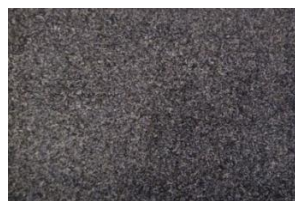
3. Изучение структурно-морфологических свойств полученных материалов.

**Научная новизна:** использование в качестве добавки к бетону вторичного сырья (сухой борщевик и отработанный сорбционный материал на основе активированного угля) для улучшения теплотехнических и механических свойств бетона, также уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

Использование сорняка и отходов позволяет создать дешевый, энергоэффективный и безопасный строительный материал, который может быть использован в жилом и гражданском строительстве зданий и сооружений. Преимуществами данного подхода является то, что в сухом виде борщевик не опасен и не выделяет токсичные вещества, а измельченный отработанный уголь увеличивает вязкость бетонной смеси. Предложенные композиты могут быть использованы заводами изготовителями бетонной и железобетонной продукции, а утилизация отработанного активированного угля фильтров ФОПС несомненно будет полезна для улучшения экологической обстановки.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Размер частиц исходной фракции отработанного активированного угля из фильтров ФОПС-МУ-0.58-1.8 [23] составлял 1-3 мм. Данный уголь был измельчен с помощью вибрационной конусной мельницы-дробилки ВКМД-6, производство ООО «Вибротехник», Россия. Фотографии угля до и после измельчения, представлены на рисунке 1.



Б- после измельчения

**Рис.1.** Внешний вид отработанного активированного угля до (а) и после (б) измельчения

**Fig.1.** Appearance of spent activated carbon before (a) and after (b) grinding

В вибрационной конусной мельнице-дробилке ВКМД-6 измельчение происходит за счет истирания - одновременной деформации сжатия и сдвига частиц материала. Основными составными частями дробилки конусной являются: основание, цилиндрический корпус, дробящий конус, чаша, ведомый и ведущий дебалансы и электродвигатель. Исходная крупность 10 мм, конечная крупность 0,1 - 1,5 мм. Диапазон регулировки зазора между конусами 1-5 мм. Принцип работы: дробимый материал загружается в воронку чаши, откуда поступает в зону дробления, образованную поверхностями наружной и внутренней броней. Частицы материала заклиниваются между бронями и подвергаются одновременно деформациям сжатия и сдвига. Брони образуют две зоны дробления:

клиновидную - для предварительного дробления и калибровочную - для доизмельчения. Измельченный материал попадает на направляющую в корпусе и за счет вибрации и силы тяжести разгружается через патрубок или в приемную емкость.

**Исходные данные для образцов.** Состав бетонной смеси для 1 литра представлен в таблице 1. В бетонный композит добавлялись: растительная добавка борщевика размером щепы 50x0,5x0,5 мм, объемная доля составляла 3%; добавка активированного угля размером частиц 0,25-1 мм, объемная доля составляла 1-3%. Серии образцов, которые были приготовлены и изучены в работе, представленные в таблице 2.

**Таблица 1.** Состав бетонного композита (контрольный образец)

**Table 1.** The composition of the concrete composite (control sample)

Объем смеси, л	Портландцемент М400, г	Кварцевый песок 0,63 мм, г	Пластификатор, г	Вода, мл
1	687	1253	7	353

**Таблица 2.** Обозначения созданных образцов

**Table 2.** Designations of the created samples

Условное обозначение	Название серии	Количество образцов
K1-K5	Контрольный образец	5
K1-K4-1%	Контрольный образец с углем 1%	4
K1-K4-б	Контрольный образец с борщевиком 3%	4
Уг1-Уг5-1%+б	Образец с углем 1% и борщевик 3%	5
Уг1-Уг5-2%+б	Образец с углем 2% борщевик 3%	5
Уг1-Уг5-3%+б	Образец с углем 3% борщевик 3%	5
K1-K3-ВО	Контрольные образцы с новым водоцементным отношением	3



**Рис.2.** Внешний вид разработанных образцов с условными обозначениями

**Fig.2.** Appearance of the developed samples with symbols

Внешний вид всех образцов с их условными обозначениями представлены на рисунке 2. Можно заметить, что образец, содержащий большее количество угля, выглядит темнее. В расчетах для измерения прочности использовалось среднее значение, полученное из трех измерений.

Испытания на трехточечный изгиб проводились в СПбПУ на базе Инженерно-строительного института на универсальной испытательной

установке Instron 5965 (США). Настольная электромеханическая двухколонная разрывная машина предназначена для проведения испытаний в среднем диапазоне нагрузок, предназначена для измерений силы и изменений линейных размеров образцов различных материалов, включая металлы, строительные, полимерные и текстильные материалы, изделия из дерева, стекла, керамики, на растяжение, сжатие, изгиб, трение, отслаивание,

раздиране, срез. Общий вид установки и нахождения образца в установке представлен на

рисунке 3. Расстояние между крайними опорами составляло 150 мм.



**Рис.3.** Расположение образца в испытательной установке Instron 5965  
**Fig.3.** Sample Location in the Instron 5965 Test Set

По результатам испытаний была определена величина предела прочности при изгибе как отношение максимального изгибающего момента при разрушении образца к осевому моменту сопротивления сечения при изгибе:

$$\sigma = \frac{M_{изг}^{max}}{W_z} \quad (1)$$

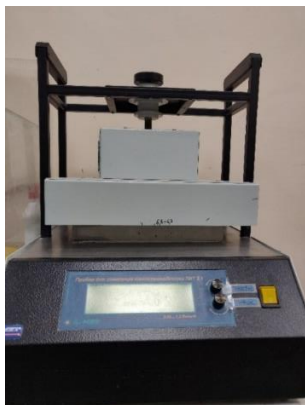
где  $M_{изг}^{max}$  – максимальный изгибающий момент, кН·м;  $W_z$  – осевой момент сопротивления, м<sup>3</sup> [26].

Рассчитывались изгибающий момент  $M_{из}$  и момент сопротивления сечения образца  $W_{из}$ , определялось изгибное напряжение  $\sigma$  для каждого образца. Расчет изгибного напряжения для каждой серии образцов приведены в таблице 3. Для дальнейшей работы будет сравниваться среднее значение изгибного напряжения.

Для определения теплопроводности использовался прибор для измерения коэффициента теплопроводности ПИТ-2.1. Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного

перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении мощности, необходимой для создания этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Установка ПИТ-2.1 состоит из двух холодильников (верхнего и нижнего), нижнего нагревателя (холодной пластины), охранного нагревателя, охранного кольца, измерительного нагревателя, прецизионного измерителя/регулятора температуры. Холодильники предназначены для обеспечения работы ПИТ-2.1 при средних температурах образцов ниже температуры окружающей среды [27-29].

В установку помещался образец размерами 250x250x30 мм, задавалась средняя температура и выставлялась толщина образца и спустя время устанавливалась теплопроводность бетонного композита. С помощью компьютерной программы можно получить график измерения теплопроводности образца. На рисунке 4 представлен общий вид установки ПИТ-2.1 и образца в ней.



А) Общий вид установки с образцом



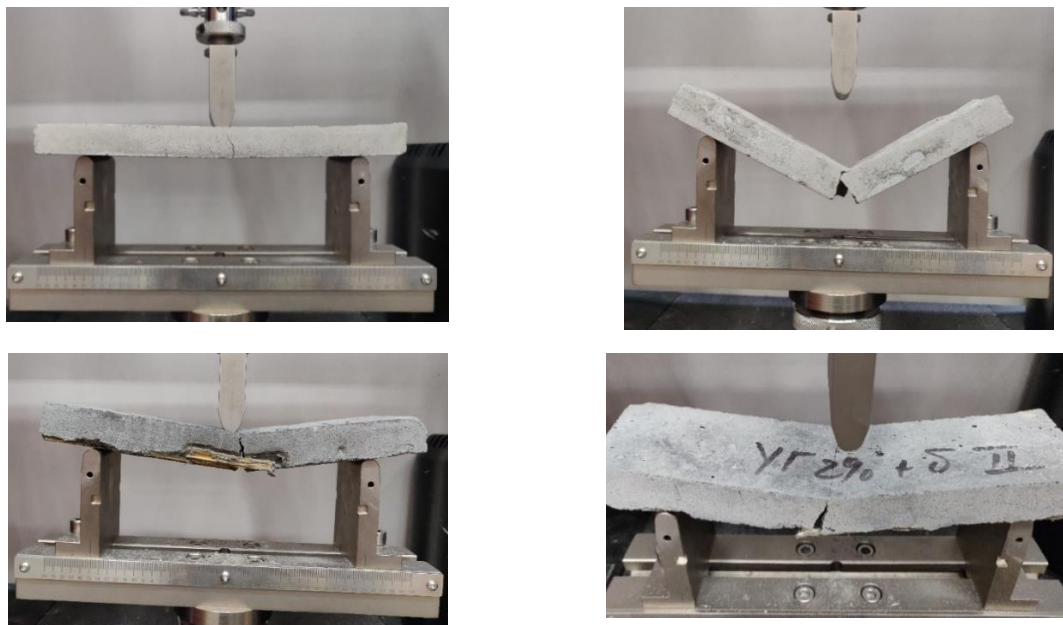
Б) Образец 250x250x30мм

**Рис.4.** Внешний вид установки и образца  
**Fig.4.** Appearance of the installation and sample

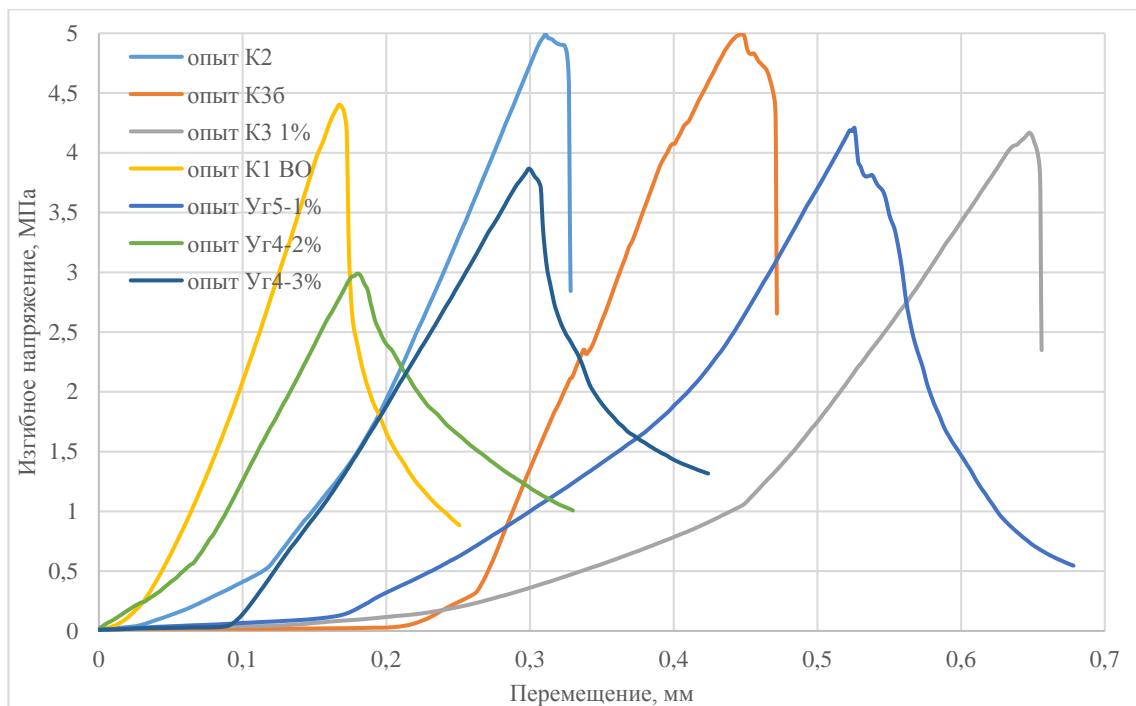
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для каждой серии образцов проводились опыты на трехточечный изгиб. Образование трещин в образцах и их разрушение при разной нагрузке представлены на рисунке 5.

Для сравнения из каждой серии опытов были выбраны графики (стрелы) с близким к среднему значению изгибного напряжения, представленные на рисунке 6.



**Рис.5.** Внешний вид образцов после трехточечного изгиба  
**Fig.5.** Appearance of samples after three-point bending



**Рис.6.** Сравнение усредненных значений предельного изгибного напряжения из каждой серии опытов  
**Fig.6.** Comparison of the average values of the ultimate bending stress from each series of experiments

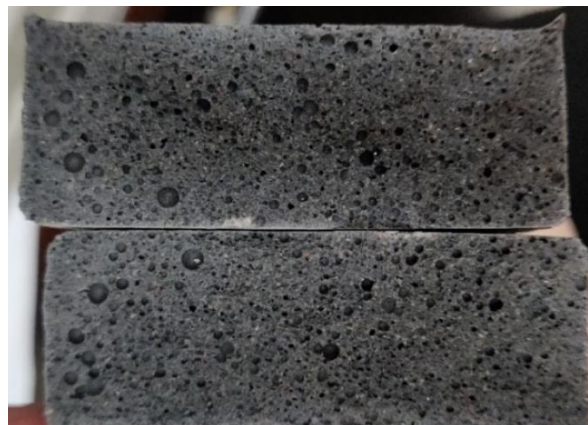
Так как уголь обладает адсорбирующими свойствами, было создано два контрольных образца, с разным водоцементным отношением (опыт К2 и опыт К1 ВО). Если производить сравнение относительно второго (К1 ВО), установлено, что образец, содержащий только борщевик, обладает большей прочностью на изгиб (прирост на 8,7%), в то время как контрольный образец с углем потерял свою прочность на 12%. В таблице 3 представлен

расчет механических характеристик для каждой серии образцов.

При большем содержании угля, в бетоне образовались поры, которые можно наблюдать на рисунке 7. Механизм их образования несомненно интересен как в теоретическом, так и в практическом плане.

**Таблица 3.** Расчет механических характеристик образцов  
**Table 3.** Calculation of the mechanical characteristics of the samples

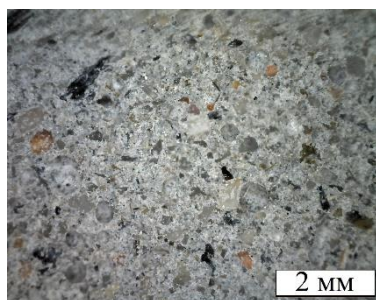
		длина, м	h, м	b, м	сила F, Н	M, Н·м	Wz	σ, МПа	σ, МПа среднее
контрольные образцы (К1-К5)	1	0,15	0,016	0,057	333,75	12,516	2,34987E-06	5,326	4,957
	2	0,15	0,017	0,057	386,69	14,501	2,90474E-06	4,992	
	3	0,15	0,016	0,057	300,94	11,285	2,50178E-06	4,511	
	4	0,15	0,014	0,057	335,16	12,569	1,98218E-06	6,341	
	5	0,15	0,018	0,066	342,32	12,837	3,55081E-06	3,615	
контрольные только уголь (К1-К4-1%)	1	0,15	0,019	0,057	346,95	13,011	3,51816E-06	3,698	4,042
	2	0,15	0,021	0,057	469,75	17,616	4,02332E-06	4,378	
	3	0,15	0,019	0,057	361,8	13,568	3,2548E-06	4,168	
	4	0,15	0,023	0,057	526,56	19,746	5,0349E-06	3,922	
контрольные только борщевик (К1-К4-б)	1	0,15	0,019	0,057	426,09	15,978	3,41623E-06	4,677	5,007
	2	0,15	0,021	0,057	525,76	19,716	4,26274E-06	4,625	
	3	0,15	0,017	0,057	346,26	12,985	2,60078E-06	4,993	
	4	0,15	0,016	0,057	354,8	13,305	2,32111E-06	5,732	
образец борщевик и уголь 1% (УГ1-УГ5-1%+б)	1	0,15	0,018	0,057	267,72	10,040	3,21914E-06	3,119	4,013
	2	0,15	0,019	0,057	429,77	16,116	3,57356E-06	4,510	
	3	0,15	0,018	0,057	223,53	8,382	3,09917E-06	2,705	
	4	0,15	0,021	0,057	592,5	22,219	4,02308E-06	5,523	
	5	0,15	0,019	0,057	375,31	14,074	3,34578E-06	4,207	
образец борщевик и уголь 2% (УГ1-УГ5-2%+б)	1	0,15	0,019	0,057	235,31	8,824	3,36652E-06	2,621	3,007
	2	0,15	0,020	0,057	284,25	10,659	3,7764E-06	2,823	
	3	0,15	0,019	0,057	288,15	10,806	3,29661E-06	3,278	
	4	0,15	0,018	0,057	235,85	8,844	2,96044E-06	2,988	
	5	0,15	0,021	0,057	359,21	13,470	4,04934E-06	3,327	
образец борщевик и уголь 3% (УГ1-УГ5-3%+б)	1	0,15	0,018	0,057	356,69	13,376	3,158E-06	4,236	3,680
	2	0,15	0,021	0,057	369,88	13,871	4,27045E-06	3,248	
	3	0,15	0,018	0,057	254,71	9,552	3,15745E-06	3,025	
	4	0,15	0,021	0,057	415,32	15,575	4,02692E-06	3,868	
	5	0,15	0,022	0,057	475,19	17,820	4,42664E-06	4,026	
контрольные новое ВО (К1-К3-ВО)	1	0,15	0,018	0,077	505,24	18,947	4,30436E-06	4,402	4,613
	2	0,15	0,017	0,077	448,36	16,814	3,79828E-06	4,427	
	3	0,15	0,020	0,077	681,68	25,563	5,10295E-06	5,009	



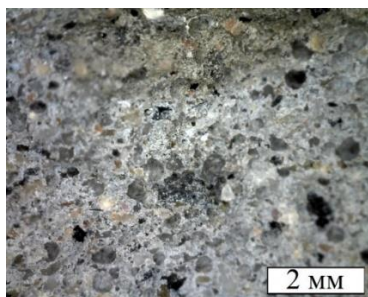
**Рис.7.** Профиль образца с 3% содержанием угля  
**Fig.7.** Sample profile with 3% carbon content

**Микроскопическое исследование образцов.**  
 Для исследования использовался ручной микроскоп фирмы Dino-lite, позволяющий проводить измерения с 10–250 кратным увеличением. На рисунке 8 при 50 кратном увеличении можно увидеть внутреннюю поверхность образцов, содержащие уголь и/или борщевик. Из полученных результатов можно сделать вывод, что чем больше

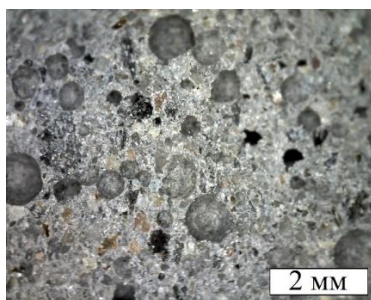
содержание угля в образцах, тем больше по размеру поры в бетоне и их количество. Это может привести к теплоизоляционному бетону. Из-за этого все осадки, которые образуются на борщевике, занимают полость пор. В результате микроскопических исследований лучше использовать смесь, содержащую всего 1 % угля и борщевик 3%.



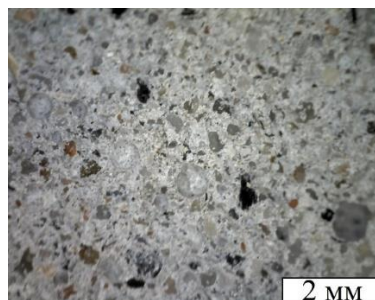
Образец уголь 1% + борщевик



Образец борщевик + уголь 2%



Образец борщевик + уголь 3%



Образец только с углем 1%

**Рис.8.** Изображение поверхности образцов, с 50кратным увеличением  
**Fig.8.** Sample surface image, 50x magnification

**Определение теплопроводности.** Измерение теплопроводности проводилось в течение 1,5 часов, после чего образец переворачивали и повторили опыт. Внешний вид дисплея установки ПИТ-2.1 и кривая изменения теплопроводности по времени представлены на рисунке 9.



**Рис.9.** Определение теплопроводности материала на приборе ПИТ-2.1  
**Fig.9.** Determination of the thermal conductivity of the material on the device PIIT-2.1

## ВЫВОДЫ

Уменьшение количества цемента в бетонном композите может привести к снижению вредных выбросов и количества отходов образованных при производстве продукции на его основе [31-32]. Применение отработанных в процессах водоочистки активированных углей и сухой щепы борщевика позволяет утилизировать отходы (отработанные угольные фильтры и сорняк). Использование отходов в качестве вторичного сырья [33] помогает уменьшить вес конструкции, что приводит к меньшим нагрузкам на фундамент. Использование борщевика в бетоне несомненно помогает в борьбе со злостным инвазивным сорняком, который растет в большом количестве в городах и является большой проблемой для сельского хозяйства и людей. Бетонный композит может быть применен заводами-изготовителями бетонной и железобетонной продукции. Уголь в смеси с борщевиком может также адсорбировать в составе бетонов токсичные вещества.

Добавка из отработанного активированного угля в бетонном композите улучшила теплопроводность материала на 12,3%. Из всех предложенных образцов наименьшие потери прочности получились у образцов с 1% угля, около 12,8%. Положительным эффектом от использования угля является создание пластичного материала. При достижении максимальной нагрузки, такие образцы не разрушаются и продолжают сохранять свою форму.

В дальнейших исследованиях планируется использовать отработанный активированный уголь в большем процентном отношении по объему, чтобы получить теплоизоляционный бетон.

Теплопроводность бетона из серии с контрольными образцами составлял 1,5 Вт/(м·К) [30], а для образца, содержащего только активированный уголь, средняя теплопроводность составила 1,316 Вт/(м·К), что на 12,3% меньше, чем у обычного бетона. Это говорит о том, что бетонный композит с активированным углем будет работать лучше при тепловой защите здания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Табунщиков Ю.А. Москва - умный безуглеродный город: возможности современного строительства // Энергосбережение. 2019. № 6. - С. 12-13.
- 2 Кокая Д.В., Заборова Д.Д. Экологическая оценка теплоизоляционных материалов для ограждающей конструкции // Неделя науки ИСИ. сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. - С. 372-375.
- 3 Rissman, J.; Bataille, C.; Masanet, E.; Aden, N.; Morrow, W.R.; Zhou, N.; Elliott, N.; Dell, R.; Heeren, N.; Huckestein, B.; et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied energy*. 2020. № 266. 114848. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114848
- 4 Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // *Journal of Physics: Conference Series*. Сер. "International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies" 2020. С. 012066. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012066
- 5 Petrichenko M., Ostrovaia A., Statsenko E. The Glass Ventilated Facades – Research of an Air Gap // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. (725–726). С. 87–92. DOI:10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.725-726.87.
- 6 Зубарев К.П., Бородулина А.И., Галлямова А.Р. Оптимизация сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций зданий. Обзор литературы // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 6 (1042). - С. 51-53.
- 7 Зубарев К.П., Бородулина А.И., Галлямова А.Р. Теоретические и экспериментальные методы определения сопротивления теплопередаче. Обзор литературы // *Строительные материалы*. 2021. № 6. - С. 9-14.

- 8 Цыпленков Д., Гамаюнова О. Современные строительные энергоэффективные материалы // Строительство новые технологии - новое оборудование. 2021. № 12. - С. 6–11.
- 9 Чакин Е.Ю., Гамаюнова О.С. Использование BIM-технологий для выбора энергоэффективных теплоизоляционных материалов // Инженерные исследования. 2022. № 2(7). - С. 11–21.
- 10 Зубарев К.П., Зобнина Ю.С. Анализ применения фазопереходных материалов для повышения энергосбережения зданий // Перспективы науки. 2022. № 10 (157). - С. 91-95.
- 11 Vatin N., Gamayunova O. Energy efficiency and energy audit: the experience of the russian federation and the republic of belarus // Advanced Materials Research. 2015. Т. 1065-1069. - С. 2159-2162.
- 12 Petrichenko M.R., Petrichenko R.M. Convective heat and mass transfer in combustion chambers of piston engines. Basic results // Heat Transfer - Soviet Research. 1991. № 5(23). - pp. 703.
- 13 Русина В. В., Соколов А. А., Рябиков В. М., Бетон с использованием топливных отходов. Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2019. № 4
- 14 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.
- 15 Ганник Н.И., Мартыш А.П., Гайдар А.М., Березюк А.Н., Долотий М.А. Влияние на пластифицирующие отходы на основе бурого угля и торфа // Вісник ПДАБА. 2019. №2. - С. 251-252.
- 16 Фильченко М. В., Климова Л. В. Применение отходов добычи и переработки угля в качестве заполнителей бетонных смесей // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2013. №3 (172).
- 17 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). - pp. 289–296.
- 18 Фёдоров М., Масликов В., Чечевичкин А., Чечевичкин В., Якунин Л. Применение отработанных сорбентов очистки поверхностных сточных вод для интенсификации роста растений. Экология и промышленность России. 2021. № 25(7). С. 26-31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-26-31>
- 19 Чечевичкин В.Н., Чечевичкин А.В. Фильтрующий патрон // Патент на полезную модель RU 138499 U1, 20.03.2014. Заявка № 2013129307/05 от 27.06.2013.
- 20 Ватин Н.И., Греков М. А., Леонов Л. В., Пробриский М. Д., Рублевская О. Н., Чечевичкин А. В., Якунин Л. А. Опыт всепогодной эксплуатации фильтра ФОПС® при очистке поверхностного стока с техногенно нагруженной селитебной территории // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 8. С. 40-50
- 21 Агрест М.М., Гомолицкий В.Н., Лавров В.В., Рейфман Л.С., Чечевичкин В.Н., Павленко И.В., Юркевич А.А., Медведев С.Л., Картель Н.Т., Стрелко В.В., Литвинская В.В., Бенедиктов А.П. Сорбционный фильтр // Авторское свидетельство SU 1567243 A1, 30.05.1990. Заявка № 4236488 от 27.04.1987.
- 22 Винокуров К.И., Лазарев Ю.Г., Чечевичкин А.В., Чечевичкин В. Н., Якунин Л. А. Совершенствование технологии очистки поверхностного стока с мостовых переходов на автомагистралях // Путевой навигатор. 2021. № 49 (75). - С. 56-62
- 23 Греков М.А., Елагин С.В., Козинец Г.Л., Леонов Л.В., Чечевичкин А.В., Якунин Л.А. Тестовая эксплуатация фильтра-сепаратора ФОПС-С при очистке поверхностного стока с территории автопарковки // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 2. - С. 38–45.
- 24 Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС. СПб. Любавич. 2017. 170 с.
- 25 Коряковцева Т.А., Заборова Д.Д., Гамаюнова О.С. Использование растительных и угольных отходов в качестве вторичного сырья в бетонных композитах // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 27(79). - С. 27-37
- 26 Столяров О.Н., Ольшевский В.Я., Донцова А.Е., Демидова Ю.А. Углеродные волокна в строительстве мостов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2019. № 3(78). С. 36-49. DOI: 10.18720/CUBS.78.3
- 27 Ватин Н.И., Султанов Ш.Т., Крупина А.А. Сравнение теплоизоляционных характеристик пенополиизоцианурата (PIR), минеральной ваты, карбона и аэрогеля // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. № 4 (138). - С. 161-165.
- 28 Аверьянова О.В., Ольшевский В.Я., Султанов Ш.Т., Кулигин Д.Д., Иванов Е.Ю., Емельянов Г.А. Теплопроводность изделий из экструзионного пенополистирола после десяти лет хранения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2021. № 5 (268). С. 67-71.
- 29 Krotov O., Gromyko P., Gravit M., Belyaeva S., Sultanov S. Thermal conductivity of geopolymer concrete with different types of aggregate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 7. Sep. "VII International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2020" 2021. С. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012018
- 30 Musorina T.A., Zaborova D.D., Petrichenko M.R., Stolyarov O. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 1(107). С. 107. DOI:10.34910/MCE.107.9
- 31 Хозин В.Г., Хохряков О.В., Козлов Р.В. Экологический рейтинг "карбонатных" цементов

низкой водопотребности и бетонов на их основе // Известия КазГАСУ. 2021. №2 (56). - С. 60-66

32 Andrew M. R. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production // *Earth Syst. Sci. Data*. 2018. No 10. pp 195–217. DOI: 10.5194/essd-10-195-2018

33 Перфилов В.А., Вольская О.Н. Утилизация промышленных отходов для повышения экологической безопасности окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2016. №2 (11). С.205-212. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-205-212

## REFERENCES

1. Tabunshchikov Yu.A. Moscow is a smart carbon-free city: the possibilities of modern construction // *Energy saving*. 2019. No. 6. pp. 12-13. (In Russian).

2. Kokaya D.V., Zaborova D.D. Ecological assessment of heat-insulating materials for building envelope // *Week of science ISI. collection of materials of the All-Russian conference*. 2022, pp. 372-375. (In Russian).

3. Risman, J.; Bataille, C.; Masanet, E.; Aden, N.; Morrow, W. R.; Zhou, N.; Elliot, N.; Dell, R.; Heeren, N.; Huckestein, B.; et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *Applied energy*. 2020. No 266. P. 114848. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114848

4. Gamayunova O., Petrichenko M., Mottaeva A. Thermotechnical calculation of enclosing structures of a standard type residential building // *Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies"* 2020. P. 012066. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012066

5. Petrichenko M., Ostrovaia A., Statsenko E. The Glass Ventilated Facades – Research of an Air Gap // *Applied Mechanics and Materials*. 2015. No (725–726). pp. 87–92. DOI:10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.725-726.87.

6. Zubarev K.P., Borodulina A.I., Galliamova A.R. Optimization of heat transfer resistance of translucent building structures. Literature review // *BST: Bulletin of construction equipment*. 2021. No. 6 (1042). pp. 51-53. (In Russian).

7. Zubarev K.P., Borodulina A.I., Galliamova A.R. Theoretical and experimental methods for determining the resistance to heat transfer. Literature review // *Building materials*. 2021. No. 6. P. 9-14. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-792-6-9-14. (In Russian).

8. Tsyplenkov D., Gamayunova O. Modern building energy-efficient materials // *Building new technologies - new equipment*. 2021. No 12. pp. 6–11. (In Russian).

9. Chakin E.Yu., Gamayunova O.S. The use of BIM-technologies for the selection of energy-efficient heat-insulating materials. *Inzhenernye issledovaniya*. 2022. No. 2(7). pp. 11–21. (In Russian).

10. Zubarev K.P., Zobnina Yu.S. Analysis of the use of phase transition materials to improve the energy

saving of buildings // *Prospects of Science*. 2022. No. 10 (157). pp. 91-95. (In Russian).

11. Vatin N., Gamayunova O. Energy efficiency and energy audit: the experience of the russian federation and the republic of belarus // *Advanced Materials Research*. 2015. T. 1065-1069. C. 2159-2162.

12. Petrichenko M.R., Petrichenko R.M. Convective heat and mass transfer in combustion chambers of piston engines. Basic results // *Heat Transfer - Soviet Research*. 1991. No 5(23). pp. 703.

13. Rusina V. V., Sokolov A. A., Ryabikov V. M., Concrete using fuel waste. *Construction: new technologies - new equipment*. 2019. No 4. (In Russian).

14. Shabanov E.A., Gilazidinova N.V. Study of the properties of concrete mixtures using coal mining waste for the construction of mines // *Innovations and Investments*. 2020. No 9 pp. 240-244. (In Russian).

15. Gannik N.I., Martysh A.P., Gaidar A.M., Berezyuk A.N., Doloty M.A. Influence on plasticizing wastes based on brown coal and peat // *Visnik PDABA*. 2019. No. 2 pp. 251-252. (In Russian).

16. Filchenko M. V., Klimova L.V. The use of coal mining and processing waste as aggregates for concrete mixtures. *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Series: Engineering sciences*. 2013. No. 3 (172). (In Russian).

17. 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. No 3(10). pp. 289–296.

18. Fedorov M., Maslikov V., Chechevichkin A., Chechevichkin V., Yakunin L. Use of spent sorbents for surface wastewater treatment for intensification of plant growth. *Ecology and industry of Russia*. 2021. No 25(7). pp. 26-31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-26-31>. (In Russian).

19. Chechevichkin V.N., Chechevichkin A.V. Filter cartridge // *Utility model patent RU 138499 U1*, 03/20/2014. Application No. 2013129307/05 dated 06/27/2013. (In Russian).

20. Vatin N.I., Grekov M.A., Leonov L.V., Probrirsky M.D., Rublevskaya O.N., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Experience of all-season operation of the FOPS® filter during cleaning surface runoff from a technogenically loaded residential area // *Water supply and sanitary engineering*. 2018. No. 8. pp 40-50. (In Russian).

21. Agrest M.M., Gomolitsky V.N., Lavrov V.V., Reifman L.S., Chechevichkin V.N., Pavlenko I.V., Yurkevich A.A., Medvedev S.L., Kartel N.T., Strelko V.V., Litvinskaya V.V., Benediktov A.P. Sorption filter // *Copyright certificate SU 1567243 A1*, 05/30/1990. Application No. 4236488 dated 04/27/1987. (In Russian).

22. Vinokurov K.I., Lazarev Yu.G., Chechevichkin A.V., Chechevichkin V.N., Yakunin L.A. Improving the technology of treating surface runoff from bridge crossings on highways // *Travel navigator*. 2021. No. 49 (75) pp. 56-62. (In Russian).

23. Grekov M.A., Elagin S.V., Kozinets G.L., Leonov L.V., Chechevichkin A.V., Yakunin L.A. Test operation of the filter-separator FOPS-S in the treatment of surface runoff from the parking area // *Water Supply and Sanitary Engineering*. 2021. No. 2. pp. 38–45. DOI:10.35776/VST.2021.02.04. (In Russian).

24. Chechevichkin A.V. Design and application of local treatment facilities for surface runoff based on FOPS filters. SPb. Lubavitch. 2017. 170 p. (In Russian).

25. Koryakovtseva T.A., Zaborova D.D., Gamayunova O.S. The use of vegetable and coal waste as a secondary raw material in concrete composites // *Construction and technogenic safety*. 2022. No. 27(79). pp. 27-37. (In Russian).

26. Stolyarov, O.N., Olshevskiy, V.Y., Dontsova, A.E., Demidova, Y.A. Carbon fibers in bridge construction. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2019. No 3(78). pp. 36-49. DOI: 10.18720/CUBS.78.3. (In Russian).

27. Vatin N.I., Sultanov Sh.T., Krupina A.A. Comparison of thermal insulation characteristics of polyisocyanurate foam (PIR), mineral wool, carbon fiber and airgel // *Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture*. 2019. No. 4 (138). pp. 161-165. (In Russian).

28. Averyanova O.V., Olshevsky V.Ya., Sultanov Sh.T., Kuligin D.D., Ivanov E.Yu., Emelyanov G.A. Thermal conductivity of products from extruded polystyrene foam after ten years of storage //

*Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2021. No. 5 (268). pp. 67-71. (In Russian).

29. Krotov O., Gromyko P., Gravit M., Belyaeva S., Sultanov S. Thermal conductivity of geopolymer concrete with different types of aggregate // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 7. Ser. "VII International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2020". 2021. p. 012018. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012018

30. Musorina T.A., Zaborova D.D., Petrichenko M.R., Stolyarov O. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. No 1(107). p. 107. DOI:10.34910/MCE.107.9.

31. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Kozlov R.V. Ecological rating of "carbonate" cements of low water demand and concretes based on them // *Izvestiya KazGASU*. 2021. No. 2 (56). pp. 60-66. (In Russian).

32. Andrew M. R. Global CO2 emissions from cement production // *Earth Syst. Sci. Data*. 2018. No 10. pp 195–217. DOI: 10.5194/essd-10-195-2018

33. Perfilov V.A., Volskaya O.N. Utilization of industrial waste to improve the environmental safety // *South of Russia: ecology, development*. 2016. No 2(11). pp.205-212. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-2-205-212. (In Russian).

## STUDY OF AN ECOLOGICAL CONCRETE COMPOSITE BASED ON PLANT ADDITIVE AND CHARCOAL FILTER

Koriakovtseva <sup>1</sup>T.A., Zaborova <sup>1</sup>D.D.

<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation , tamusorina@mail.ru, zaborova-dasha@mail.ru

**Abstract.** To create a comfortable microclimate in the premises, it is necessary to comply with the requirements for thermal protection of the building, which requires the selection of materials for enclosing structures. For this purpose, various additives are used in concrete: crushed invasive weed (hogweed) and coal sorption-filtering materials used in water treatment processes. This allows you to create an ecological building material, reduce the amount of cement consumed.

**Subject of research.** The concrete composite with additives, which has increased thermal and mechanical properties.

**Materials and methods.** Research object is a load-bearing layer of a concrete enclosing structure. Seven series of different combinations of additives have been developed, mechanical and thermal characteristics are experimentally determined at equipment Instron 5965 and PIT 2.1. The porous structure of the samples was evaluated by microscopic examination.

**Results:** Thermal conductivity of the new material was improved by 12.3%. The sample with 1% of activated charcoal had the least strength loss (12.8%) compared to other samples. The positive effect of using activated coal is the creation of flexible material that does not collapse when the maximum load is reached and continues to hold its shape. Microscopic studies of the samples revealed an increase in the size of the pores and their number with the charcoal increase in the samples.

**Conclusions:** The created concrete composite can be used in residential and civil construction of buildings and structures. The hogweed is not dangerous in its dry form, does not emit toxic substances and additives of crushed waste sorption materials based on activated charcoal increase the viscosity of the concrete mixture. The use of hogweed in concrete products will contribute to additional commercial interest in the fight against the invasive plant, which is being conducted in St. Petersburg and the Leningrad region. Utilization of spent charcoal sorption materials as part of concrete composites is an important link in solving the problem of waste recycling and improving the environmental situation of the region.

**Key words:** building materials, concrete additives, three-point bending, thermal conductivity, hogweed, waste charcoal sorption-filtering materials