

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Тема проекта:**

**«Конструкционно-теплоизоляционный бетон с применением  
наполнителя органического генезиса и кремнесодержащей добавки»**

Выполнил: ученик 10 класса

ГБОУ "Белгородский инженерный юношеский лицей-интернат"

Плужник Михаил Сергеевич

Белгород, 2018

## Содержание

Введение.....	3 стр.
Глава 1. Состояние вопроса.....	5 стр.
1.1. Оценка объёмов сбора семян подсолнечника в России...5 стр.	
1.1.2. Интервьюирование.....	5 стр.
1.2. Арболит. История создания арболита.....	8 стр.
1.3. Применение арболита.....	8 стр.
Глава 2.....	9 стр.
2.1. Оборудование.....	9 стр.
2.2. Характеристика материалов.....	10 стр.
Глава 3.....	13 стр.
3.1. Процесс формования образцов.....	13 стр.
3.2. Экспериментальные исследования прочностных характеристик.....	16 стр.
3.3. Выбор оптимального состава бетона.....	18 стр.
3.4. Исследование поверхности лузги на растровом электронном микроскопе.....	20 стр.
3.5. Технология получения конструкционно-теплоизоляционного бетона на промышленных предприятиях.....	22 стр.
Заключение.....	24 стр.
Литература.....	25 стр.
Электронные ресурсы.....	25 стр.
Приложения.....	26 стр.

## Введение

Прошедший 2017 год был объявлен годом экологии, в связи с этим было проведено большое количество мероприятий различного уровня, направленных на мотивирование молодёжи (как к будущему поколению) рационально использовать природные ресурсы, создавать безопасные и безотходные технологии производства.

Мы хотели разработать и предложить безотходное производство и помочь нашему государству не только сохранить экологию и получить прибыль, но и создать новые рабочие места на предприятиях, по производству нашего бетона.

Наш выбор мы остановили на производстве подсолнечного масла, в связи с тем, что основным кластером развития Белгородской области является агропромышленный комплекс, нам всегда была интересна эта отрасль промышленности: сам процесс, продукция и конечно же отходы, а именно как их минимизировать или исключить вообще.

Данной работой мы начали заниматься в начале 2017 года и, проведя мониторинг использования подсолнечной лузги в различных отраслях промышленности, мы пришли к выводу, что самым актуальным будет использование данного органического отхода при производстве строительных материалов различного назначения. Их производство должно основываться на нанотехнологическом подходе. Такой подход заключается в управлении на молекулярном уровне процессами, протекающими в исследуемых системах.

**Цель исследования:** разработка наноструктурированного конструкционно-теплоизоляционного бетона с применением наполнителя органического генезиса и кремнесодержащей добавки.

**Актуальность:** ежегодно в России растёт объём сбора семян подсолнечника для производства подсолнечного масла и других продуктов питания. Это, безусловно, затрагивает важные вопросы в области экологии и безотходного производства, ведь с увеличением объёма сбора урожая возрастает количество отходов при переработке семян подсолнечника.

**Объектом** исследования является органическая добавка, обладающая высокой поверхностной энергией.

Цель работы обусловила построение следующих задач:

1. Оценить объёмы сбора лузги семян подсолнечника по Белгородской области и сравнить с другими субъектами РФ;
2. Изучить влияние органического отхода, лузги семян подсолнечника, на окружающую среду;
3. Провести интервьюирование среди учащихся и педагогов ГБОУ «БИЮЛИ»;
4. Предложить способ использования лузги семян подсолнечника при производстве строительных материалов;
5. Разработать оптимальный состав конструкционно-теплоизоляционного бетона;
6. Экспериментальные исследования прочностных характеристик образцов конструкционно-теплоизоляционного бетона;
7. Исследование эксплуатационных характеристик образцов получившегося конструкционно-теплоизоляционного бетона;
8. Исследование поверхности лузги на растровом электронном микроскопе;
9. Разработка технологии производства композита.

Работа состоит из содержания, 3-х глав, заключения. В работе 15 рисунков, 5 таблиц, 4 диаграммы. Литературные источники содержат 8 наименований.

# ГЛАВА 1.Состояние вопроса

## 1.1.Оценка объёмов сбора семян подсолнечника в России

На первом этапе выполнения работы был проведён литературный обзор.

Была изучена статистика по производству семян подсолнечника в России (диаграмма 1). На диаграмме 1 представлена структура производства семян подсолнечника по регионам России по состоянию на 01 ноября 2016 года. Общий объём сборов – 9 810,8 тыс. тонн.

Опираясь на данную статистику можно сказать, что Белгородская область занимала 11 место по производству семян подсолнечника.

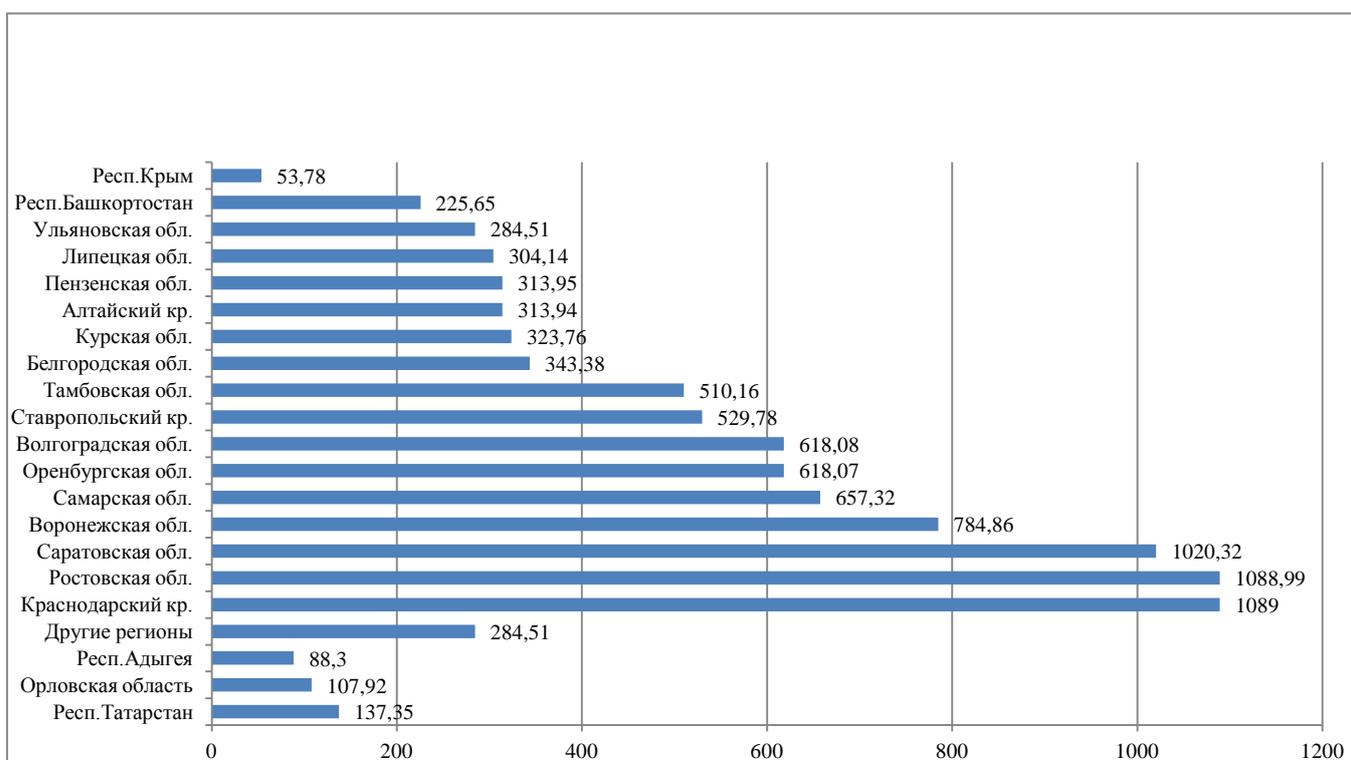


Диаграмма 1. Структура производства семян подсолнечника по регионам России по состоянию на 01 ноября 2016 года.

## 1.1.2. Интервьюирование

На следующем этапе выполнения работы нами было проведено интервьюирование среди обучающихся и учителей нашей школы. Всего было опрошено 107 человек: 12 учителей и 95 обучающихся.

Были заданы следующие вопросы, касающиеся тематики поставленной проблемы:

1. Как Вы считаете, используются ли органические наполнители при производстве различных строительных материалов? (диаграмма 2)

2. Какие Вы знаете органические наполнители, используемые при производстве строительных материалов? (диаграмма 3)

3. Как Вы считаете, в каких отраслях промышленности используется лузга подсолнечника? (диаграмма 4)



Диаграмма 2. Результат первого опроса



Диаграмма 3. Результат второго опроса



Диаграмма 4. Результат третьего вопроса

## 1.2. Арболит. История создания арболита

Арболит – бетон на основе цементного вяжущего, органических заполнителей и химических добавок. Также известен как деревобетон. Основной компонент – это древесная щепа, а в роли химической добавки выступает хлористый кальций.

Официально считается, что арболит изобрели голландцы в 30-е годы прошлого столетия. Арболит пришел к нам в страну в 1960-е годы.

Разработка ГОСТ по производству была скопирована с зарубежного образца DURISOL (ДЮРИСОЛ). Материал и технология DURISOL была разработана в Голландии и завоевала широкую популярность в Европе, Канаде и США благодаря своей экологической чистоте, простоте и экономичности строительства за счет высоких тепло- и звукоизолирующих свойств, хорошей паропроницаемости и малой плотности готовой стеновой конструкции.

## 1.3. Применение арболита

Так как арболит тёплый, лёгкий, гибкий, негорючий и долговечный, то из него обычно изготавливают блоки (рисунок 1), однако, есть методика и с использованием его с применением армирующей арматуры. Дома с несущими стенами из арболита рекомендуют строить не выше 3-ёх этажей, однако сейчас широко практикуется строительство зданий с железными каркасами, которые всю нагрузку берут на себя, поэтому арболит может смело использоваться и в многоэтажных зданиях.



Рисунок 1. Характеристики арболита.

## **Глава 2. Методы исследования и применяемые материалы.**

### **2.1 Оборудование**

В ходе исследований наших образцовна прочность мы использовали гидравлический пресс марки ПГМ-500МГ4А. Контроль прочности образцов на сжатие производили по ГОСТ 310.4–81 на образцах – кубиках размером 70×70×70 мм.

Для изучения поверхности лужги до и после обработки химическими добавками (жидкое стекло, щёлочь) мы использовали цифровой сканирующий электронный микроскоп TESCANVEGATS5130 ММ с энергодисперсионным спектрометром OxfordINCAEnergy 350. Одним из важнейших моментов при исследовании микроструктуры с помощью SEM является подготовка образцов. В связи с тем, что камера SEM находится в глубоком вакууме, образцы перед изучением их микроструктуры должны быть полностью обезвожены. Затем замороженные образцы переносят в вакуумную камеру сублимационной установки, где они высушиваются при нужных отрицательных температурах за счет сублимации замерзшей влаги в вакууме.

Для получения качественного изображения в SEM применялась методика термического напыления образцов в вакууме пленкой золота или углерода толщиной 10 – 20 нм.

При проведении качественного анализа микроструктуры образцов искусственных композитов были выполнены следующие основные требования:

а) при подготовке образцов для анализа реальная микроструктура не была искажена, т.е. получена ненарушенная поверхность, в максимальной степени отражающая реальную микроструктуру образца;

б) выбранный режим работы SEM, обеспечивал получение изображений, с одной стороны, в максимальной степени отражающих истинную микроструктуру образца, а с другой – отвечающих формальным

требованиям анализа, то есть получению бинарного (черно-белого) изображения;

в) перед распространением результатов, полученных по одному «точечному» определению на весь образец, была установлена однородность микроструктуры.

## 2.2 Характеристика материалов

Для получения токопроводящих композиционных силикатных материалов использованы следующие материалы:

- 1) Портландцемент СЕМ I 42,5 N;
- 2) Жидкое натриевое стекло
- 3) Щёлочь
- 4) Лузга семян подсолнечника
- 5) Вода водопроводная.

**Цемент.** Для проведения исследований использовался портландцемент марки СЕМ I 42,5 N производства ЗАО «Белгородский цемент». Цемент этого предприятия характеризуются стабильностью качества. Химический и минералогический состав, тонкость помола, нормальная густота и сроки схватывания цементов приведены в таблицах 2.1–2.3. Используемые цементы полностью соответствуют требованиям ГОСТ 31108–2003.

Таблица 2.1. Химический состав цементов типа СЕМ I 42,5 N

Завод-производитель	Химический состав, масс. %								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	CaO <sub>св</sub>	п.п.п.
ЗАО «Белгородский цемент»	22,49	4,77	4,40	67,22	0,44	2,45	0,62	0,35	0,23

Таблица 2.2. Минералогический состав цементного клинкера

Завод-производитель	Фактический минералогический состав клинкера, %			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
ЗАО «Белгородский цемент»	65,4	18,1	4,1	12,4

Таблица 2.3. Строительно-технические характеристики цемента

Наименование показателя	СЕМ I 42,5 N ГОСТ 31108–2003
Тонкость помола:	
– остаток на сите №008, масс. %	10±2
– удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	290–330
Нормальная густота цементного теста, %	28,00
Сроки схватывания, мин	
– начало	140
– конец	195
Активность при пропаривании, МПа	34,2
Прочность при сжатии в 28 суток, МПа	50,5

**Вода.** В работе применялась питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732–85 (1993) «Вода для бетонов и растворов». Белгородская водопроводная вода имеет рН = 7,12. Карбонатная жесткость на май 2017 года составила 5,5–5,9, общая – 8,1 (мг·экв/л).

**Лузга.** Лузга семян подсолнечника урожая 2016 года, была приобретена у фермерского хозяйства в Старом Осколе (рисунок 2). Значительных видимых и скрытых повреждений на её поверхности обнаружено не было.



Рисунок 2. Лузга семян подсолнечника.

**Щёлочь.** Гидроксид натрия (едкий натр, каустическая сода)

(рисунок 3) применялся для того, чтобы очистить поверхность лузги от жирных кислот и прочих органических соединений. Конечная цель этих реакций была получить наноструктурированную целлюлозу.



Рисунок 3. Гидроксид натрия.

**Жидкое натриевое стекло.** Вязкий раствор на основе натриевых солей (рисунок 4), обладает повышенной прочностью и адгезией с минералами различной структуры. Он устойчив к возгоранию, перегреву и деформациям.



Рисунок 4. Жидкое натриевое стекло.

## Глава 3. Создание конструкционно-теплоизоляционного бетона

### 3.1. Процесс формования образцов

Процесс изготовления образцов осуществлялся в лабораториях кафедры материаловедения и технологий материалов БГТУ им. Шухова

Сам процесс делится на 2 этапа:

- Подготовительный
- Замес (формование)

Подготовительный этап включает в себя взвешивание различных компонентов (рисунок 5). Компоненты необходимые для замеса бетона: жидкое (натриевое) стекло, лузга (урожая 2017 года с фермерского хозяйства в Старом Осколе), щёлочь (гидроокись натрия), вода (водопроводная), цемент (марки ЦМ I 42.5 Н) и др., в лабораториях БГТУ им. Шухова.



Рисунок 5. Расчет состава бетона.

В начале мы взвешиваем на лабораторных весах (рисунок 6) натриевое жидкое стекло, а параллельно лузгу, далее приготавливается раствор щелочи, он может быть концентрированный и слабоконцентрированный

(концентрация раствора меняется в зависимости от конкретного вида образцов), и лишь в конце взвешиваем цемент (цемент необходимо взвешивать как можно позже, чтобы он не прогидратировал).



Рисунок 6. Взвешивание компонентов.

Одновременно с взвешиванием производится смазка форм специальным средством, чтобы от них было легче отделять образцы (рисунок 7). Затем в лужку добавляется раствор щёлочи, который реагирует с большинством органических соединений, находившихся на поверхности лужки. Перемешиваем при помощи специального прибора, чтобы равномерно распределить щёлочь между лужгой. Далее промываем лужку под сточной водой и отжимаем при помощи пресса. Добавляем жидкое стекло и снова перемешиваем при помощи специального прибора.



Рисунок 7. Подготовка форм.

Параллельно с этим на чашу насыпается цемент и начинается замес с последующим добавлением органической добавки (лузги с жидким стеклом). Замес проводится 3-5 мин, до получения почти однородной смеси, которой потом заполняют формы (рисунок 8) и отправляют на вибростол (на 3 мин) с целью удаления лишней влаги и равномерному распределению смеси в форме.



Рисунок 8. Формование образцов.

Заканчивается процесс формования тем, что образцы отправляют в специально подготовленное место с климат контролем на 28 дней (именно за этот срок они наберут максимальную прочность и будут готовы к испытаниям на прочность (рисунок9)).

С другими фотографиями можно ознакомиться в (приложение 1)



Рисунок 9. Камера с климат-контролем для образцов.

### 3.2. Экспериментальные исследования прочностных характеристик

Прочность является интегральной характеристикой бетона, критерием образования, существования и состояния материала, сопротивляемости различным разрушающим факторам.

Изучение влияния органического наполнителя на прочностные свойства цементных бетонов проводилось на составах с различным содержанием подсолнечной лузги. Были подобраны оптимальные составы, состоящие из вяжущего (цемента), органического наполнителя для синтеза конструкционно-теплоизоляционного материала.

Исследовано влияние лузги семян подсолнечника на прочность цементного камня.

Для оценки физико-механических и прочностных свойств композиций изготавливались образцы-кубики с ребром в  $70 \times 70 \times 70$  мм. Водоцементное отношение принято постоянным и равным 0.5. Испытания образцов проводились на 28 сутки по методикам, указанным в ГОСТ 310.4–81 и ГОСТ 5802–86.

При введении органического наполнителя свойства цементного камня изменяются. Полученные результаты представлены таблице 3.2.



Рисунок 10. Испытание образцов на прочность.

Таблица 3.2. Прочностные характеристики.

№ состава.	Вид наполнителя	Концентрация ж.с, %	В/Ц	Предел прочности, МПа, в возрасте 28 сут
1	Лузга	5%	0,5	2,3716
2	Лузга	5%	0,5	3,0216
3	Лузга	5%	0,5	3,4827
4	Лузга	5%	0,5	3,4928
5	Лузга	5%	0,5	2,0367

Как видно из полученных данных введение в систему обработанного органического наполнителя в размере [redacted] приводит к увеличению прочности бетона на [redacted] %. При увеличении количества лузги происходит снижение прочности на [redacted] %. Такие результаты можно объяснить особенностями структурообразования цементного камня с наполнителем органического генезиса.

Жидкое стекло выступает в роли добавки в цементном вяжущем, образуя микрокаркас и, что придает структуре материала однородность.

Усиление эффекта упрочнения контактных зон при оптимальной концентрации лузги может быть обеспечено за счет перераспределения баланса внутренних сил в системе с помощью жидкого стекла, вводимого с целью улучшения адгезии, однородности и других свойств композиционных материалов.

### 3.3. Выбор оптимального состава бетона

В нашем исследовании нам было необходимо найти оптимальный состав нашего бетона, поэтому было создано 159 образцов различного состава (рисунок 11), которые были испытаны на прочность.

Из 5-ти составов, 2 являются наиболее оптимальными. К оптимальным относятся те составы, которые обладают максимальной прочностью при наименьшей плотности, а именно третий и четвёртый составы (таблица 3.3.).

Конечно, они не будут иметь прочность большую, чем прочность цементного камня, однако данной прочности будет достаточно, чтобы использовать данный лёгкий бетон в строительстве. К тому же в настоящее время широко практикуется строительство многоэтажных домов с использованием металлического каркаса, который всю несущую нагрузку берёт на себя, поэтому наш бетон можно использовать и при строительстве многоэтажных зданий.



Рисунок 11. Готовые образцы различных составов.

Таблица 3.3. Средняя плотность и средняя прочность составов.

№ состава	$\rho$ среднее значение, кг/ м <sup>3</sup>	R среднее, Мпа
1	1462,50	2,3716
2	1480,3	3,0216
3	1488,8	3,4827
4	1247,5	3,4928
5	1272,5	2,0367

### 3.4. Исследование поверхности лужги на растровом электронном микроскопе

Исследование микроструктуры образцов конструкционно-теплоизоляционного композита проводилось в возрасте 14 суток твердения в воздушно-сухих условиях. Были исследованы образцы конструкционно-теплоизоляционного материала с различными добавками различной концентрации.

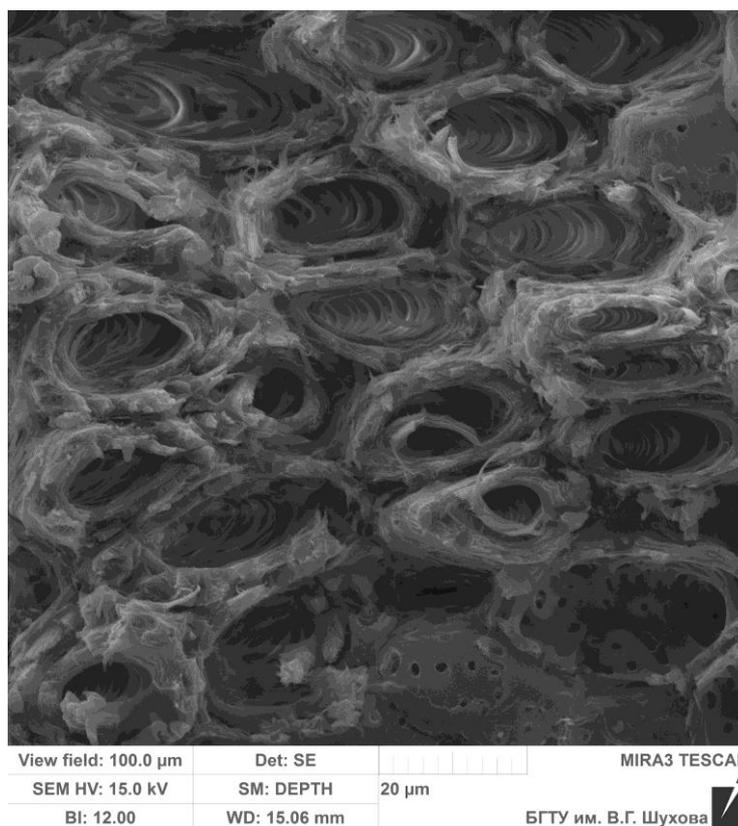


Рисунок 12. Органический наполнитель, обработанный жидким стеклом.

При использовании обработанного жидким стеклом органического наполнителя микроструктура конструкционно-теплоизоляционного материала получается однородная. Частицы расположены равномерно по объему цементного камня (рисунок 12).

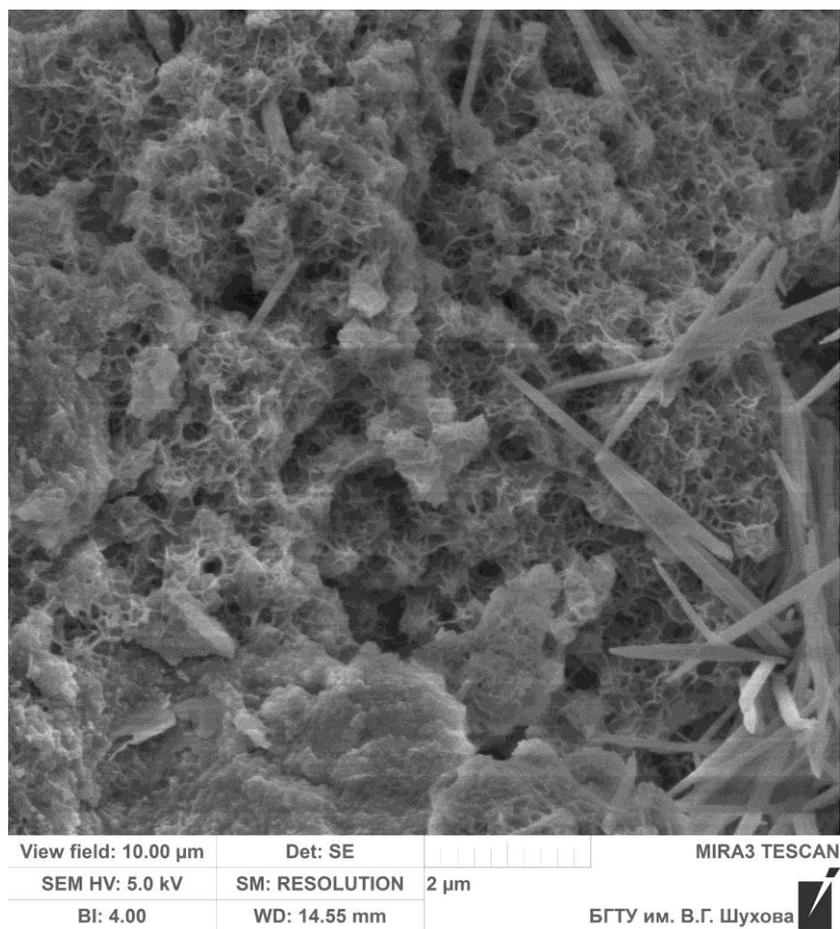


Рисунок 13. Микроструктура наполнитель+жидкое стекло+вяжущее.

Микроструктура поверхности цементного камня с необработанным наполнителем является слоистой и неоднородной (рисунок 13) При большем увеличении (рисунок 14) заметны участки с неплотной структурой, микротрещины. Микротрещины, по-видимому, являются причиной пониженных прочностных характеристик композита.

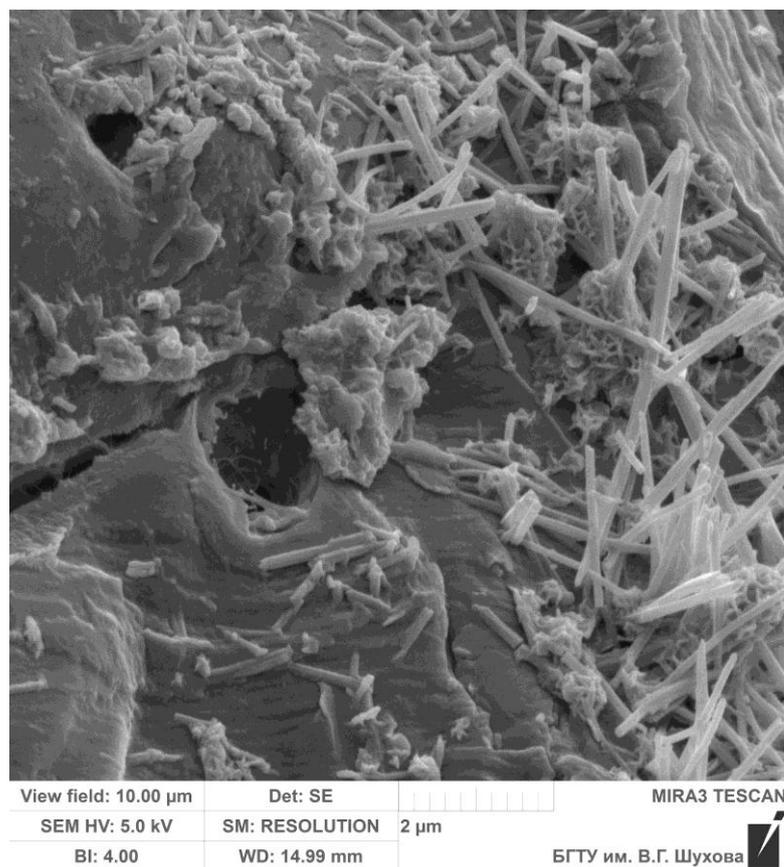


Рисунок 14. Наноструктура наполнитель+вяжущее.

Установлено, что предлагаемая добавка, в зависимости от концентрации, оказывают различное влияние на изменение прочностных характеристик исследуемого композита.

### **3.5. Технология получения конструкционно-теплоизоляционного бетона на промышленных предприятиях**

Так же мы разработали схему промышленного производства нашего бетона (рисунок 15). Принцип производства был взят по аналогии с производством арболита, но тщательно переработан под специфику нашего материала.

В начале лузга доставляется на завод или непосредственно на место производства нашего бетона, далее идёт приготовление лузги, при помощи специальной системы фильтрации удаляются инородные тела, например: листья семян подсолнечника и насекомые.



Рисуно15. Технология получения конструкционно-теплоизоляционного бетона.

После прохождения системы очистки от инородных тел, лузга попадает в специальный буфер, из которого впоследствии она будет, в соответствии пропорциям, добавлена в ёмкость, где проводится приготовление формовочной смеси. Кроме лузги в состав смеси входят: цемент (марки ЦМ I 42.5 Н), химические добавки, вода (дистиллированная). Когда смесь приготовится, идёт сам процесс формования, распределение полученной смеси по специальным формам (размер форм может варьироваться, в зависимости от спроса на тот или иной размер), затем формы со смесью отправляются в сушильную камеру, а затем их складировуют и упаковывают.

## Заключение

1. Проведен литературный обзор по данной тематике;
2. Разработана технология получения конструкционно-теплоизоляционного материала на основе органической добавки и с применением наполнителя органического генезиса;
3. В ходе работы был синтезирован конструкционно-теплоизоляционный материал на основе органического генезиса и кремнесодержащей добавки;
4. Проведены экспериментальные исследования прочностных характеристик образцов конструкционно-теплоизоляционного бетона;
5. Изучена технология получения арболита;
6. Исследованы эксплуатационные характеристики образцовполучившегося конструкционно-теплоизоляционного бетона;

Данным проектом мы планируем заниматься и дальше.

В будущем мы хотим решить следующие задачи:

- максимально оптимизируем затраты на цемент
- проведём поиск дополнительных оптимальных составов
- составим бизнес-план по созданию предприятия по производству нашего бетона
- оформление патента.

## Литература

1. ГОСТ 31108 – 2003 «Цементы общестроительные. Технические условия»
2. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие / И. А. Рыбьев. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2004. – 700 с.
3. Химические и минеральные добавки в бетон / под ред. А. В. Ушерова-Маршака. – Харьков: Колорит, 2005. – 280 с.
4. Баженов Ю. М. Технология бетона: учебник для вузов / Ю. М. Баженов. – М.: АСВ, 2003. – 499 с.
5. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие / И. А. Рыбьев. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2004. – 700 с.
6. Лопанов А. Н. Физическая химия: учебно-практическое пособие / А. Н. Лопанов – Белгород: БелГТАСМ, 2001. – 134 с.
7. Корнеев В. И. Жидкое и растворимое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов – СПб.: Стройиздат, 1996. – 216 с.
8. Баженов Ю. М. Технологии бетонов XXI века: новые научные направления в строительном материаловедении / Ю. М. Баженов // сб. трудов Академических чтений РААСН, посв. 75-летию со дня рождения Ю. М. Баженова. – Белгород, Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2005. – Ч I. – С. 9–19.

## Интернет-ресурсы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бетон>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Арболит>
3. <http://pobetonu.ru/vidy/raznovidnosti-cementa.html>
4. <https://nastroike.com/>
5. <http://stroychik.ru/strojmaterialy-i-tehnologii/legkie-betony>



Приложение 1.Формование образцов.

## **Приложение 2**

## **Приложение 3**

## **Приложение 4**

## **Приложение 5**