



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призеров III степени среди 9 классов

Название работы – Композитная арматура для опор контактной сети на основе базальтопластика.

Авторы – Емельянов Илья Сергеевич, Медведев Вадим Дмитриевич (9 класс, МБОУ "Лицей № 2", г. Чебоксары).

Руководитель – Лаврентьев Анатолий Генрихович, учитель физики, МБОУ "Лицей № 2", г. Чебоксары.

Основная идея работы, цели, задачи

Цель: Экспериментально исследовать возможность замены традиционных материалов при изготовлении опор контактной сети на базальтопластик.

Задачи

- Изучить структуру и состав
- Ознакомиться со способами производства
- Изучить физические свойства композита

Актуальность и новизна работы

Результаты работы могут быть применены при разработке новых опор контактной сети железных дорог, благодаря тому, что базальтопластик по гипотезе менее подвержен механическим воздействиям, более устойчив коррозии и воздействиям агрессивной внешней среды, а также имеет высокие диэлектрические показатели и электрическую прочность, что является преимуществом на фоне традиционных материалов изготовления опор контактной сети.

Основные результаты

Приведем основные определения:

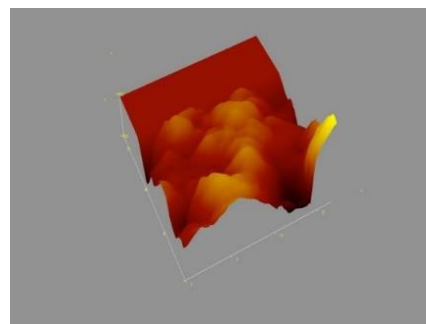
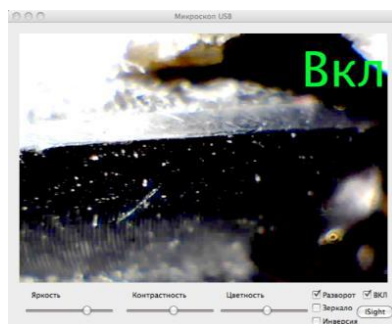
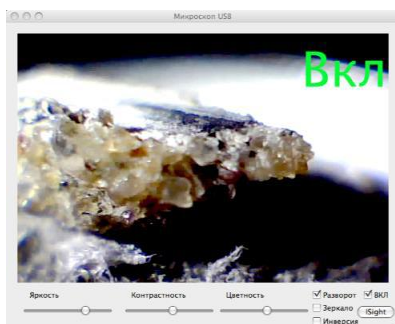
- опора контактной сети – строительная несущая конструкция, на которой закрепляют устройства контактной сети, состоящая из верхней части (стойки) и подземной части (фундамента) или только из стойки;
- стойка для опор контактной сети – элемент опоры, воспринимающий нагрузки от контактной сети, функцией которого является передача этой нагрузки на фундамент или непосредственно на грунт.

Вследствие этого были проведены следующие эксперименты:

Исследование структуры

Для исследования мы использовали базальтопластиковые стержни, длина которых изначально была 60 см. В зависимости от опыта мы отпиливали от них более мелкие части. По снимкам, сделанным камерой микроскопа, можно сделать вывод о том, что структура базальтопластика состоит из многочисленных маленьких волокон и защитного антикоррозийного покрытия. (Поверхность базальтопластиковой арматуры покрыта песочным напылением. Это сделано для лучшего сцепления прутьев со строительной

основой. Песок дает возможность прочнее фиксировать арматуру, не позволяя ей «выскальзывать» из отверстий. Является наиболее распространенной. Основное достоинство - высокая коррозионная стойкость к агрессивным средам, в том числе к цементопесчаному раствору).



Для исследования структуры базальтопластика использовали сканирующий зондовый микроскоп «NanoEducator» в полуконтактном режиме. Структура состоит из плотных зерен средним размером 5 мкм, состоящих из более мелких компонентов.

Вычисление плотности базальтопластика. Чтобы найти плотность базальтопластика измеряю его массу и делю на объём. Масса равна 0.013 кг; объём $4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.
Базальтопластик: 3045 кг/м^3

Низкая плотность (легкость) материала позволяет возводить более высокие конструкции и экономить на транспортировке.

Далее нам интересно было узнать о влагопроницаемости. Чтобы узнать её у базальтопластика мы провели следующий опыт: мы поставили базальтопластиковый стержень в воду на 24 часа. Масса образца до опыта была $m=8,2 \text{ г}$; после $m=8,52 \text{ г}$. В процентном соотношении – это 3.9 %. Мы предполагаем, что большую часть из этого вобрало себя абразивное покрытие, а не сам базальтопластик.

Для базальтопластика ещё не выведены табличные данные. А именно, такие значения, как удельная теплоёмкость и коэффициент теплопроводности. Поэтому мы решили провести опыты, чтобы найти эти величины.

Удельная теплоёмкость

Все мы знаем из курса физики 8го класса простое уравнение количества теплоты для твёрдого тела:

$$Q=cmdT,$$

где c – удельная теплоёмкость

m – масса тела

dT – разница температур между начальным и конечным положением

Из той же физики нам известно следующее выражение:

$$Q=\eta Pt,$$

где P – это мощность,

t – это время

η – Коэффициент полезного действия

$$\eta Q(\text{плитки})=Q(\text{воды})+Q(\text{базальтопластика})$$

При помощи незамысловатых математических преобразований получаем:

$$C(\text{базальтопластика})= \eta Pt-c(\text{воды})m(\text{воды})dT/m(\text{базальтопластика})dT$$

Итак, сам опыт заключается в следующем:

- 1) Измеряем массу стержня. $m(\text{базальтопластика})=0.013$ кг.
- 2) Вычисляем КПД. Смотрим, во сколько раз отличается количество теплоты, которое выделяет плитка (количество теплоты затратное), и сравниваем с тем, сколько идёт именно на нагрев воды (количество теплоты полезное); количество теплоты полезное делим на количество теплоты затраченное. $\eta=Q(\text{воды})/Q(\text{плитки})=0.4$
- 3) Наливаем в сосуд воду и опускаем в неё стержень. $m(\text{воды})=0.13$ кг ($c(\text{воды})=4200$ Дж/(кг•К)).
Включаем и максимально нагреваем плитку. $P=350$ Вт
- 4) Ставим сосуд с водой и стержнем на плитку. Засекаем время.
- 5) Потом измеряем получившуюся разницу температур стержня (учитываем, что разница температур стержня равна разнице температур воды).
- 6) Подставляем все измеренные величины в формулу, и находим, чему равна удельная теплоёмкость базальтопластика.
- 7) Повторяем опыт снова, с другой температурой стержня (воды) и временем нагрева.

Разница температур стержня (воды), К Время стержня в воде, с Значение удельной теплоёмкости, Дж/(кг•К)

Разница температур стержня (воды), К	Время стержня в воде, с	Значение удельной теплоёмкости, Дж/(кг•К)
41,4	296,3	1937,6
44,9	305,8	2007,5
41,8	284,2	1932,3
43,1	309	2017,5

Средняя удельная теплоёмкость базальтопластика: 1973,7 Дж/(кг•К).

Это означает, что базальтопластик теплоустойчив.

Расчет коэффициента теплопроводности (X)

Для определения этой константы мы обратилась в Чувашский Государственный Университет, который оказал нам любезность в предоставлении нужного оборудования.

Коэффициент теплопроводности можно найти по следующей формуле:

$$X= \eta I^2 R L / S dT,$$

где N – Коэффициент полезного действия,

I – сила тока,

R – сопротивление резистора,

L – длина стержня,

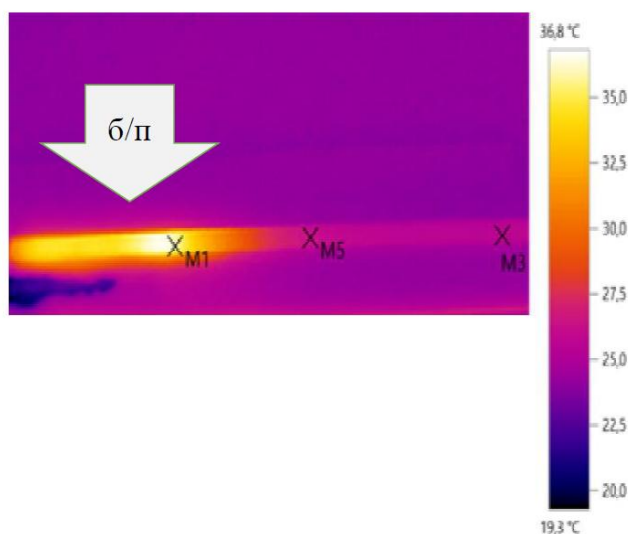
S – площадь поперечного сечения,

dT – разница температур между конечным и начальным положением.

- 1) Измеряем длину и, при помощи штангенциркуля, площадь поперечного сечения стержня.
- 2) Помещаем стержень в пенопластовый термоизолятор (2) для предотвращения потери тепла с боковой поверхности.
- 3) Резистором, подключённым к автотрансформатору (3), нагреваем стержень с одного конца. Резистор изготовлен в виде спирали, охватывающий конец стержня, также заключённый в пенопласт.
- 4) С другого конца стержень охлаждается радиатором (4) и установленным рядом вентилятором.
- 5) Находим КПД.
- 6) Измеряем термометром (6) температуру нагретого конца, которая при этом остаётся постоянной за счёт поддержания температуры холодного конца.
- 7) Подставляем все измеренные величины в формулу, и находим, чему равен коэффициент теплопроводности базальтопластика.
 Коэффициент теплопроводности базальтопластика 0,46 Вт/м*К.

Опыт с тепловизором

С помощью термографии, можно увидеть, как температура распределяется по базальтопластиковому стержню и по стальному. Это наглядно показывает их разницу в теплопроводности.



№	Темп. [°C]
M1	35,8
M5	26,4
M3	25,7

Испытание на изгиб. Модуль Юнга

Следующим шагом в нашей работе было проверить прочность этого замечательного материала. Испытание на изгиб хрупких материалов проводят с целью определения склонности материалов к хрупкому разрушению. Образцы испытывают на гидравлической машине. Они устанавливаются на две опоры и подвергаются действию медленно возрастающей нагрузки. Определяют наибольшую нагрузку в момент разрушения образца (P) и подсчитывают сопротивление изгибу по следующей формуле (для дисковых образцов):

$$E = 4L^3P / 3\pi D^4 \lambda,$$

где L — расстояние между опорами;

D — диаметр образца;

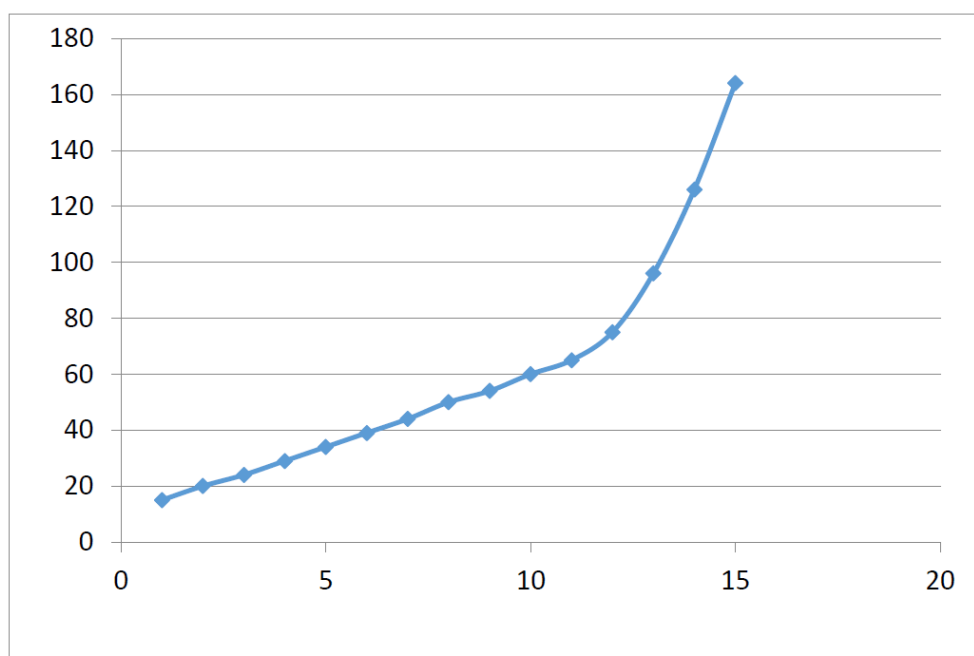
λ — стрела прогиба;

E — модуль Юнга.

- 1) На штативы кладём стержень из исследуемого материала так, чтобы середина его совпадала с серединой расстояния между штативами.
- 2) Помещаем в середине стержня стремя с подставкой для грузов.
- 3) Добавляем на подставку последовательно один, два, три и так далее грузы с известным весом, начиная с большего, каждый раз при этом определяя стрелу прогиба.
- 4) Результаты измерений записали в таблицу.

<i>F</i> , Н	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>λ</i> , мм	15	20	24	29	34	39	44	50	54	60	65	75	96	126	164

- 5) Мы построили график зависимости стрелы прогиба от величины нагрузки и убедились, что имеет место линейная зависимость между ними, то есть деформация остаётся упругой и не переходит в пластическую. Если зависимость линейная, то можно вычислять модуль Юнга.



Исследование механических характеристик на растяжение

Для вычисления предела прочности базальтопластика, нам была предоставлена разрывная машина «Р-50». Замер проводился 4 раза, устройство давало результат в «кгс», позже эти значения были переведены в «Н», затем на основе данных нам значений был высчитан предел прочности по формуле:

$$\sigma = P/F_0 \text{ Па}$$

где *P* – наибольшая нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;
S₀ – площадь поперечного сечения образца до испытания, м².

Диаметры d₁; d₂; d₃ = 6 мм

Диаметр d₄ = 12 мм

Из этого по формуле $S = \pi R^2$

$$S_{01} = S_{02} = S_{03} = 28,27 \text{ мм}^2 = 0,00002817 \text{ м}^2$$

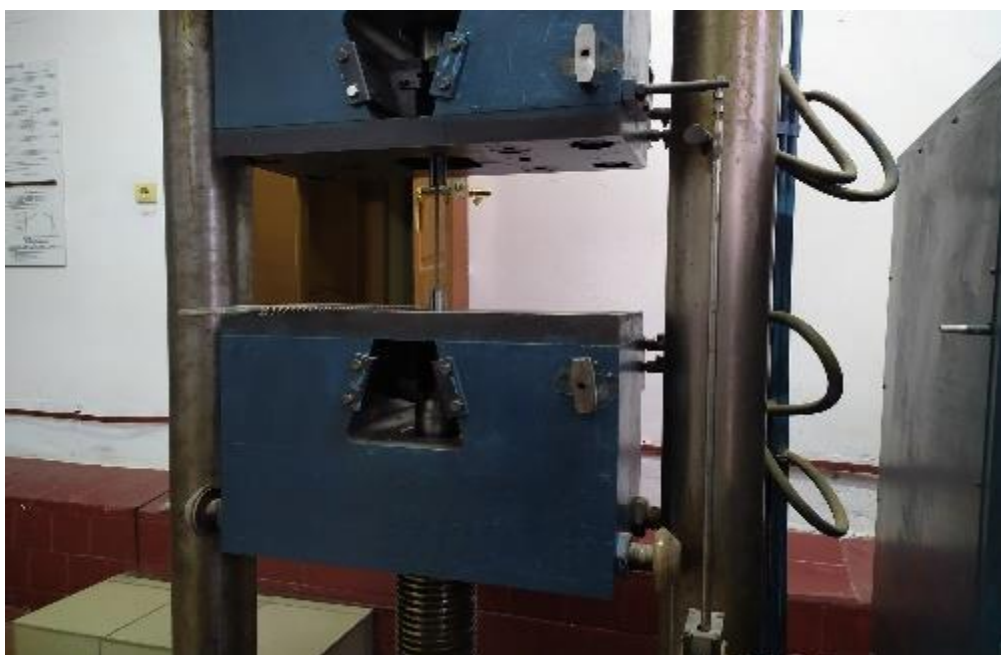
$$S_{04} = 113,1 \text{ мм}^2 = 0,0001131 \text{ м}^2$$

P1 = 4100 кгс = 40207,3 Н
 P2 = 3600 кгс = 35303,9 Н
 P3 = 3860 кгс = 37853,7 Н
 P4 = 7160 кгс = 70215,6 Н

(разница в нагрузке в первых трех случаях обусловлена тем, что некоторые образцы имели абразивное покрытие)

Подставляем эти значения в формулу $\sigma_{сж} = P/F_0$ Па, и получаем:

$\sigma_1 = 1427309194,2$ Па = 1430 МПа
 $\sigma_2 = 1248811460,9$ Па = 1250 МПа
 $\sigma_3 = 1343759318,4$ Па = 1350 МПа
 $\sigma_4 = 620827586,2$ Па = 620 МПа

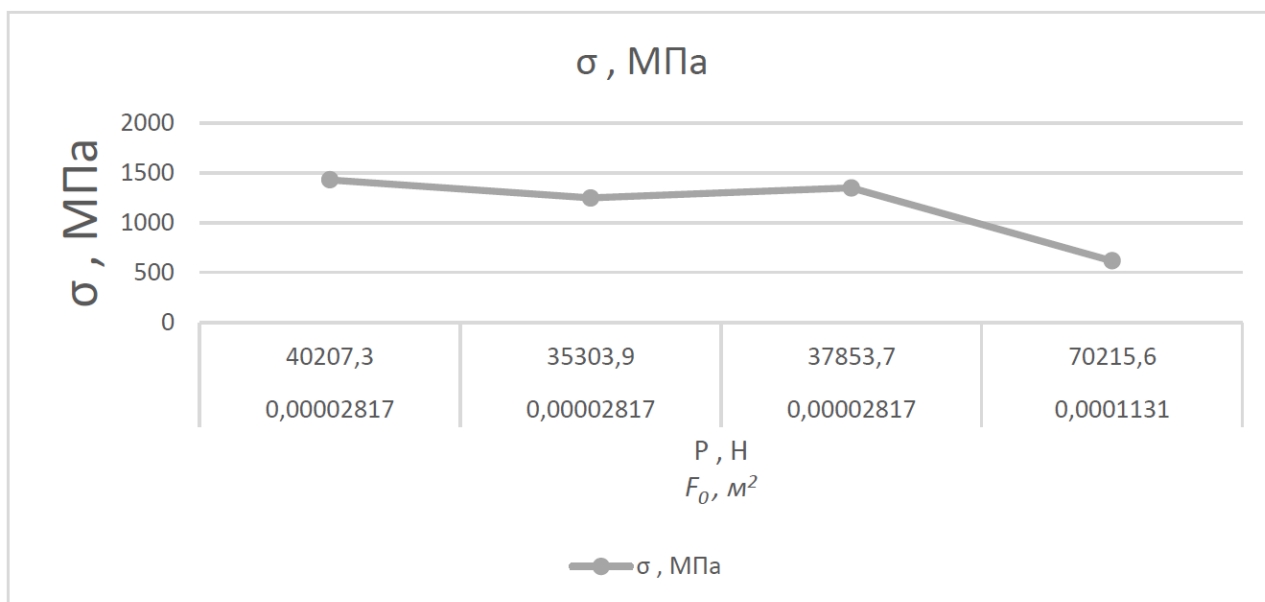


Разрывная машина «P-50»



На основе выведенных данных сделана таблица:

	d, мм	F ₀ , м2	P, Н	σ, МПа
1	6	0,00002817	40207,3	1430
2	6	0,00002817	35303,9	1250
3	6	0,00002817	37853,7	1350
4	12	0,0001131	70215,6	620



Образцы после разрыва

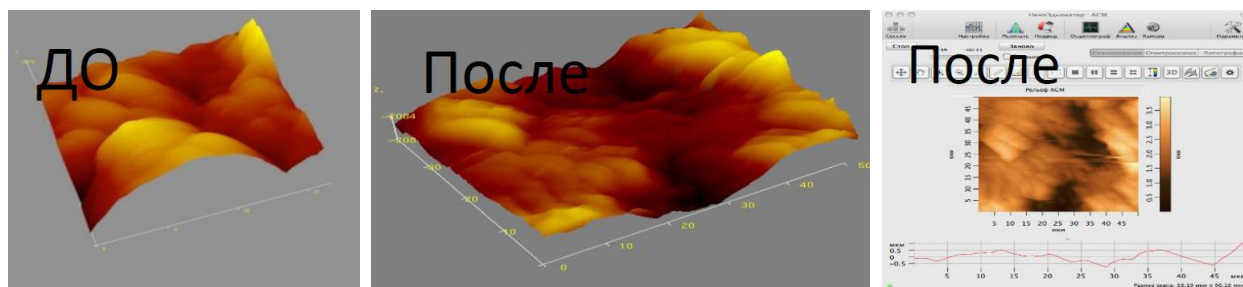
На основе данных таблицы был построен график и видно, что образец с большим диаметром обладает меньшим пределом прочности, причиной того скорее всего является наличие наполнителей в образце с большим диаметром. Также на фото можно увидеть, что в случае растяжения образца с большим диаметром не произошло распада на мелкие волокна.

Коррозия

Арматура, находящаяся в бетоне подвергается воздействиям различной щелочной среде бетона, вследствие чего должна иметь хорошую коррозионную стойкость. Для исследования коррозионной стойкости мы поместили образец в растворы гидроксида калия (KOH), а также медного купороса ($CuSO_4$) на 48 часов и рассмотрели его структуру, непосредственно после пребывания образца в растворах.



Структура после 48 часов в растворе KOH:



Структура после 48 часов в растворе CuSO₄:



Исходя из полученных результатов, мы можем сделать вывод, что базальтопластик обладает хорошей коррозионной стойкостью.

Электропроводность

Конструкции, используемые для создания опор контактной сети, должны содержать в себе минимальное количество проводников. Поэтому, мы провели замеры электропроводности базальтопластика. Эксперименты показали, что базальтопластик является диэлектриком, вследствие того, что его электропроводность равна 0. Это дает преимущество для рассмотрения его как материала для опор контактной сети.



Параметр	Сталь	БПА
Плотность	7700-7900 кг/м ³	3045 кг/м ³
Коррозионная стойкость	Менее устойчива	Устойчив к щелочным и кислым средам
Удельная теплоемкость	462 Дж/(кг·К)	1973,7 Дж/(кг·К)
Коэффициент теплопроводности	≈ 56 Вт/м·К	0,46 Вт/м·К
Модуль Юнга на изгиб	210 Н/мм ²	887,16 Н/мм ²
Электропроводность	Проводник	Диэлектрик

Выводы, заключение, перспективы

Исследуя базальтопластик, его структуру, состав, физические свойства, мы сделали следующие сравнительные выводы:

1. При равных параметрах базальтопластик легче стали в 2 раза больше.
2. Было установлено, что базальтопластик является диэлектриком
3. Мы узнали, что у базальтопластика низкая влагопроницаемость. Это даёт материалу массу плюсов. Долговечность, дополнительная коррозионная, щелче- и кислотостойкость, которая достигается за счет абразивного покрытия - вот следующие чрезвычайно важные свойства базальтопластика.
4. Предел прочности на разрыв у базальтопластика 1300 и 620Мпа, у стали же 500 МПа.

Также были выведены механические характеристики базальтопластика на растяжение.

На основе полученных механических характеристик мы поняли, что проблема базальтопластика в том, что он хорошо гнётся, но при этом обладает хорошей прочностью на растяжение, поэтому в конструкциях опор для контактной сети каркас арматуры должен иметь такую форму, чтобы заменить изгиб на растяжение (форма спирали). Однако, если бы всё было так хорошо, металлы перестали бы использовать в строительстве, значит, мы делаем вывод, что и базальтопластик обладает некими изъянами. Самый главный из них – это плохая прочность на изгиб. Исходя из проведённого эксперимента, мы поняли, что базальтопластик уступает стали в прочности на изгиб, однако выигрывает в прочности на растяжение. Соответственно, необходимо использовать новую технологию строительства опор для контактной сети, дабы выделить положительные качества данного композитного материала и исключить всевозможные слабые стороны, ведь мы пришли к тому, что базальтопластик намного легче металлов, является диэлектриком и обладает большей коррозионной устойчивостью.

Список цитированных источников

1. <https://helpiks.org/8-90850.html>
2. <https://vseoarmature.ru/vidy/bazaltoplastikovaya-armatura#i>
3. <http://bzpl.ru/>
4. <http://naftaros.ru/articles/31/index.html>