

**Автономная некоммерческая общеобразовательная  
организация "Физтех-лицей"  
(АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)**

## **XX научно-практическая конференция**

### **«Старт в инновации»**

#### **Определение влажности материалов с помощью измерения проводимости**

**Выполнили:**  
Громов Роман  
Завьялов Борис  
ученики 7 «Б» класса  
**Руководитель:**  
Гуленко Т. Н.

Московская область, г. Долгопрудный

2021 г.

Оглавление	
Введение.....	3
1. Проводимость воды.....	3
2. Влажность и сопротивление пемзы.....	4
3. Влажность и сопротивление бетона.....	5
4. Имитация нарушений целостности бетона.....	5
Выводы.....	6
Литература.....	6
Приложения.....	7

## Введение

Влажность очень пагубно влияет на свойства некоторых материалов. Одним из наиболее востребованных материалов в нашем мире является бетон. Влажность для бетона может приводить к его быстрому разрушению [1]. Поэтому было бы интересно реализовать некоторый метод, который позволял бы определять влажность бетона и других материалов.

Напрямую померить содержание воды в бетонной конструкции практически невозможно, но может быть возможно использовать изменения свойств влажного бетона, которые легко измерять. Например, влажный бетон, вероятно, может проводить электрический ток. Вообще взаимодействие воды и электрического тока само по себе весьма интересно, дело в том, что чистая вода вообще не проводит электрический ток [2], так как в ней нет свободных зарядов. Однако наличие в воде хотя бы небольшого количества примесей приводит к возникновению способности проводить электрический ток, так электропроводимость морской воды и дистиллированной воды отличается в несколько десятков тысяч раз [3].

### **Цель работы:**

Изучение свойств проводимости материалов при наличии в них влаги.

### **Задачи:**

1. Оценить проводимость чистой воды;
2. Подобрать или изготовить образцы для измерений;
3. Подготовить установку для измерения проводимости;
4. Подготовить установку для измерения количества воды;

**Гипотеза:** Сопротивление уменьшается при увеличении влажности.

**Методы исследования:** измерения сопротивлений, ёмкости, проводимости и веса.

## 1. Проводимость воды

Для оценки проводимости чистой воды была собрана экспериментальная установка для дистилляции, приложение № 2, по схеме согласно приложению 1. В качестве охлаждающего агента использован бытовой лёд, нагревание на батарее.

Для качественной оценки проводимости обычной и дистиллированной воды в цепь лампочка-батарейка была включена ёмкость с водой. Для обычной воды лампочка горела, при дистиллированной воде лампочка не зажигалась.

Для количественной оценки в цепь был включен мультиметр, но получить замеры сопротивлений не удалось. Вероятно, электропроводимость

дистиллированной воды оказалась меньше возможностей прибора. В дальнейших экспериментах дистиллированная вода не использовалась.

## 2. Влажность и сопротивление пемзы

Для первого цикла экспериментов были выбраны образцы рыхлого материала – карбонатной пемзы. В них даже визуально фиксируются значительные пустоты, в которых может попасть значительное количество воды. Порядок подготовки образцов и проведения измерений:

- В каждый из 2-х образцов вкручено по 2 шурупа для исключения влияния фактора не стабильного/изменяемого подключения образцов к щупам мультиметра;
- Вес образцов был приведён к возможностям электронных весов (до 200 граммов);
- Специальной обработки поверхности не проводилось;
- Взвешивание и измерение сопротивлений «сухих» образцов;
- Образцы помещались в воду на 6-12 часов;
- Образцы извлекались из воды и выдерживались в обычных условиях 30-60 минут до прекращения вытекания воды из больших пор;
- Далее образцы высушивались в духовом шкафу при температуре 80 С, в процессе сушки каждые несколько минут производилось 10-15 замеров веса, сопротивлений и ёмкости образцов;
- После прекращения фиксации сопротивлений образцы карбонатной пемзы дополнительно высушивались в течение часа в духовом шкафу.

Процесс измерения веса показан в приложении 3. Процесс измерения сопротивлений и ёмкости показан в приложении 4. Результаты измерений 2-х циклов эксперимента собраны в приложении 5.

Измерения сопротивлений пемзы оказались не стабильными, часть замеров оказалось невозможно произвести. Сопротивления менялись от 15 кОм до 2 МОм. В приложении 6 показана зависимость сопротивления от веса воды в образце – какая-либо закономерность в результатах отсутствует. Замер сопротивлений не позволяет оценить влажность рыхлых материалов.

Помимо сопротивлений мы также измеряли ёмкость образцов. В приложении 7 показана зависимость ёмкости от влажности. Результаты измерений оказались более стабильными, при количестве воды в образцах более 10 граммов (около 7% от веса образца) проявилась закономерность – ёмкость увеличивается на 1-2 мкФ на каждый грамм воды.

**Выводы по разделу:** для рыхлых пород, подобных пемзе, не надёжно определение низкой остаточной влажности при измерении электрических

свойств. Сопротивление не характеризует влажность, а ёмкость подходит лишь для оценок значительных влажностей.

### 3. Влажность и сопротивление бетона

Для второго цикла экспериментов из сухой смеси были изготовлены 6 образцов, приложение 8. При формировании образцов в каждый из них мы поместили по 2 шурупа, у которых не было непосредственного контакта друг с другом. Как и первом эксперименте, шурупы нужны для исключения влияния фактора не стабильного/изменяемого подключения образцов к щупам мультиметра. 2 образца были только из бетона и 4 образца помещены в пластмассовые коробки для проверки влияния поверхностных эффектов.

После полного высыхания бетона образцы помещались в воду на сутки. Часть образцов не проводили ток, у остальных сопротивления оказались близкими к 200 МОм, что является предельным значением для используемого нами мультиметра.

**Выводы по разделу:** для качественного бетона с полимерными добавками вопрос оценки влажности вряд ли является актуальным. Бетон не проводит ток даже при значительной влажности окружающей среды.

### 4. Имитация нарушений целостности бетона

В заключительном эксперименте мы имитировали низкое качество или разрушение бетона. Для этого эксперимента мы покрыли образцы пемзы тем же цементным раствором с полимерными добавками, который использовали для изготовления бетона. Для возможности сушки и насыщения водой часть поверхности была оставлена без толстого слоя бетона, приложение 9. Далее проводились измерения по следующей схеме:

- Образцы помещались в воду на 12 часов;
- Образцы извлекались из воды и выдерживались в обычных условиях 30-60 минут до высыхания поверхности;
- Далее образцы высушивались в духовом шкафу при температуре 80 С, в процессе сушки каждые несколько минут производилось 10-15 замеров веса, сопротивлений и ёмкости образцов;
- После прекращения фиксации сопротивлений образцы дополнительно высушивались в течение 3-х часов в духовом шкафу для определения веса сухих образцов.

Результаты измерений собраны в приложении 10. Измерения сопротивлений оказались стабильными, прослеживается функциональная зависимость. Для сопоставления измерений на 2-х образцах лучше всего

подошёл пересчёт веса образца к относительной доле воды в образце: отношение веса воды к весу «сухого» образца. В приложении 11 показана зависимость сопротивления от относительного содержания воды. Судя по трендам данным:

- Доле воды 0.03 соответствует сопротивление 100 МОм;
- Доле воды 0.02 соответствует сопротивление 125 МОм;
- Доле воды 0.01 соответствует сопротивление 160 МОм;

**Выводы по разделу:** для некачественного или разрушенного бетона оценка влажности может быть проведена пересчётом из сопротивлений при влажности более 0.01.

## Выводы

В ходе работы мы ознакомились с качественными и количественными измерениями электропроводности воды. В нескольких экспериментах мы оценивали возможность измерения влажности материалов по сопротивлению/электропроводности воды в этих материалах. Практический интерес могут представлять определения низкой влажности – начало появления воды может свидетельствовать о нарушениях в конструкциях зданий или других нештатных ситуациях.

В экспериментах мы имитировали размещение контактных датчиков чувствительностью до 200 МОм на расстоянии 5-10 см. Подобные измерения:

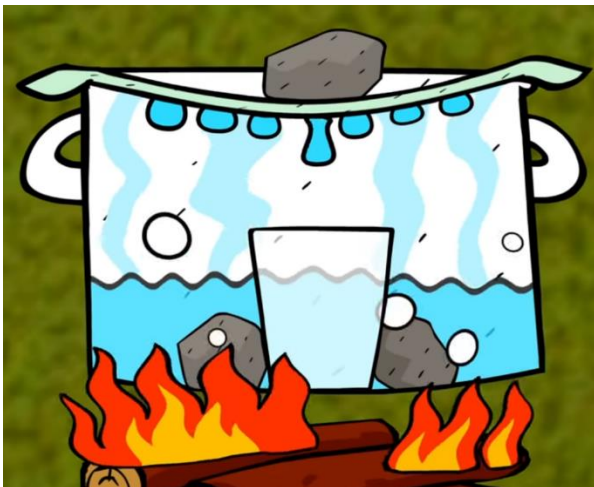
- для рыхлых пород, подобных пемзе, не надёжно определение низкой остаточной влажности при измерении электрических свойств. Сопротивление не характеризует влажность, а ёмкость подходит лишь для оценок значительных влажностей;
- для качественного бетона с полимерными добавками вопрос оценки влажности вряд ли является актуальным. Бетон не проводит ток даже при значительной влажности окружающей среды;
- для некачественного или разрушенного бетона оценка влажности может быть проведена пересчётом из сопротивлений при влажности более 0.01.

## Литература

1. <http://rembeton.ru/novosti/pochemu-tak-vazhna-zaschita-betona-ot-vlagi/>
2. <https://o-vode.net/kakaya-byvaet/distillirovannaya/svoystva/provodit-li-tok>
3. <https://www.msulab.ru/knowledge/water/electrical-conductivity/>

## Приложения

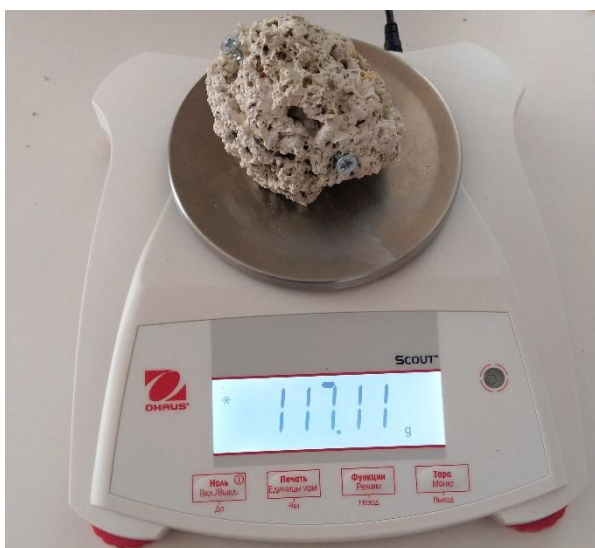
Приложение №1. Схема создания дистиллятора по «смешарикам»



Приложение №2. Экспериментальная установка дистиллятора



Приложение №3. Измерение веса карбонатной пемзы на электронных весах.



Приложение №4. Измерение сопротивления карбонатной пемзы.



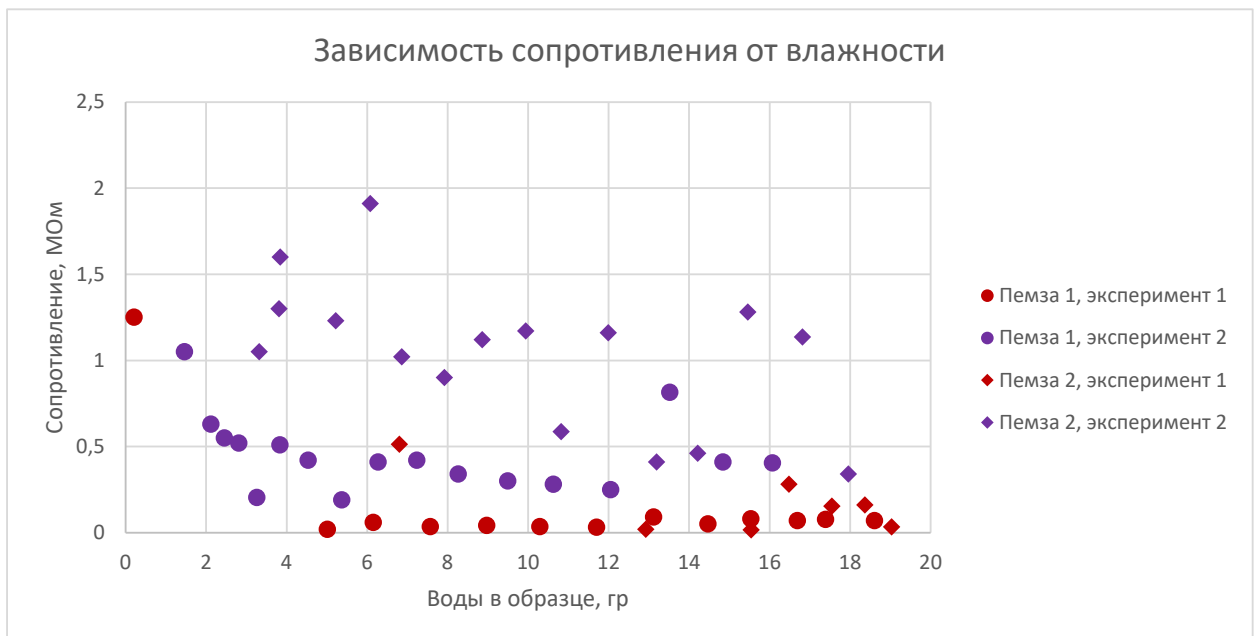
Приложение №5. Результаты измерений веса, сопротивлений и ёмкости у пемзы

Образец	Эксперимент	Вес образца, гр	Сопротивление, Мом	Ёмкость, мкФ	Образец	Эксперимент	Вес образца, гр	Сопротивление, Мом	Ёмкость, мкФ
П1	0	115,49		0,0057	П2	0	133,46		0,007
П1	1	134,1	0,07	20	П2	1	152,49	0,033	25,2
П1	1	132,88	0,076	20,8	П2	1	151,83	0,161	25
П1	1	132,18	0,07	20,3	П2	1	151,01	0,153	24,3
П1	1	131,02	0,08	18,4	П2	1	149,94	0,28	23
П1	1	129,96	0,05	14	П2	1	149	0,015	18,1
П1	1	128,61	0,09	13	П2	1	147,71		16,2
П1	1	127,19	0,032	10,7	П2	1	146,38	0,019	14,4
П1	1	125,78	0,0341	7,6	П2	1	145,2		5,9
П1	1	124,46	0,042	5	П2	1	144,02		4
П1	1	123,06	0,035	5,1	П2	1	142,7		1,7
П1	1	121,64	0,06	5,12	П2	1	141,49		2,43
П1	1	120,5	0,0191	4,305	П2	1	140,26	0,5131	3,67
П1	1	119,52		4,011	П2	1	139,121		4,114
П1	1	118,83		3,973	П2	1	138,12		3,457
П1	1	115,7	1,25	0,74	П2	1	134,2		1,9
П1	2	131,56	0,4039	8,8	П2	2	151,42	0,34	13,503
П1	2	130,33	0,41	9,331	П2	2	150,28	1,135	14,531
П1	2	129,01	0,815	8	П2	2	148,92	1,28	10,19
П1	2	127,54	0,25	6,45	П2	2	147,67	0,46	6,97
П1	2	126,12	0,28	5,29	П2	2	146,65	0,41	2,4
П1	2	124,98	0,3	4,4	П2	2	145,45	1,16	4,75

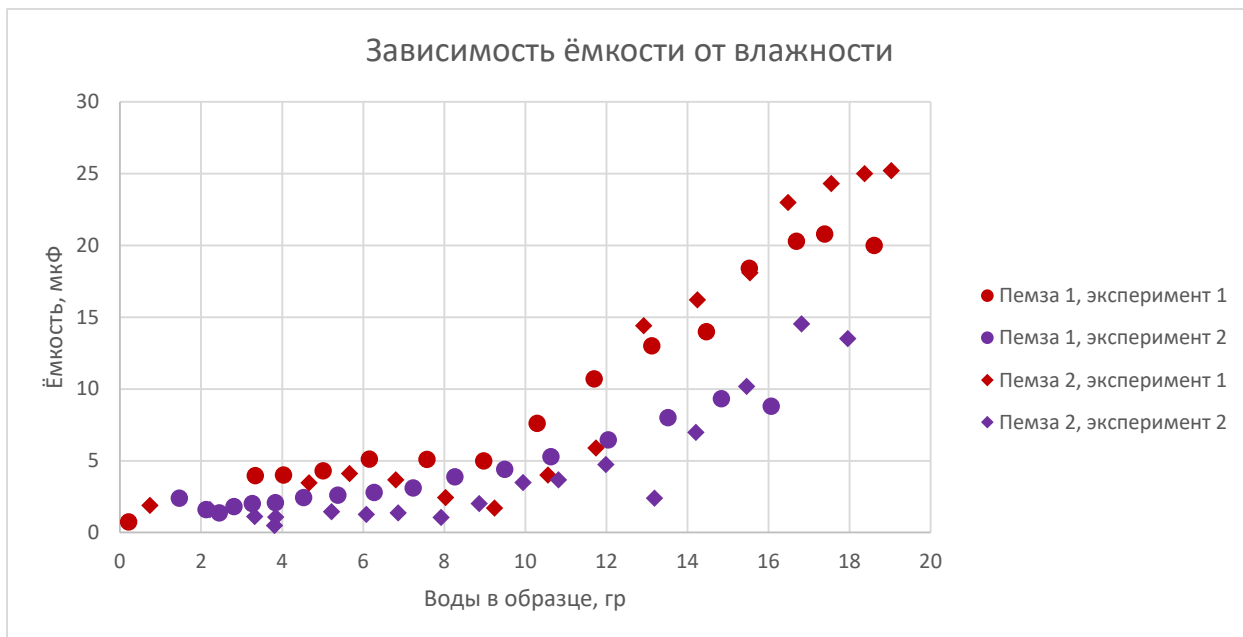


П1	2	123,75	0,34	3,89	П2	2	144,28	0,586	3,68
П1	2	122,72	0,4206	3,102	П2	2	143,4	1,17	3,48
П1	2	121,76	0,41	2,8	П2	2	142,32	1,12	2,026
П1	2	120,86	0,19	2,6	П2	2	141,38	0,9	1,05
П1	2	120,02	0,42	2,44	П2	2	140,32	1,0205	1,37
П1	2	119,32	0,51	2,08	П2	2	139,54	1,91	1,27
П1	2	118,75	0,2038	2,012	П2	2	138,68	1,23	1,45
П1	2	118,3	0,52	1,8	П2	2	137,3	1,6	1,083
П1	2	117,94	0,55	1,38	П2	2	137,27	1,3	0,5
П1	2	117,61	0,63	1,6	П2	2	136,78	1,05	1,111
П1	2	116,95	1,05	2,4	П2	2	135,68		1,6

### Приложение №6. Зависимость сопротивления пемзы от влажности



## Приложение №7. Зависимость ёмкости пемзы от влажности



## Приложение №8. Изготовление образцов бетона



Приложение №9. Образцы, имитирующие разрушение или низкое качество бетона



Приложение №10. Результаты измерений веса и сопротивлений у образцов, имитирующих разрушение бетона

Образец	Вес, гр	Сопротивление, Мом	Образец	Вес, гр	Сопротивление, Мом
СП1	135,71	1,6	СП2	87,69	1,2
СП1	135,2	0,8	СП2	87,09	5,6
СП1	134,96	3	СП2	86,78	16
СП1	134,21	11	СП2	86,22	17,5
СП1	133,66	11,7	СП2	85,7	19
СП1	133,27	15	СП2	85,32	20
СП1	132,6	17	СП2	84,82	24
СП1	131,83	20	СП2	84,18	30
СП1	131,09	24	СП2	83,55	35
СП1	130,3	29	СП2	82,9	41
СП1	129,54	34	СП2	82,25	46
СП1	128,78	40	СП2	81,7	52
СП1	128,01	46,5	СП2	81,24	58,2
СП1	127,45	51,2	СП2	80,7	64
СП1	126,85	57,7	СП2	80,3	69,3
СП1	124,6	90,2	СП2	78,9	104,7
СП1	122,9	126	СП2	77,8	139,8
СП1	121,59	163,1	СП2	77,17	176,2
СП1	120,5		СП2	76,7	

## Приложение №1. Зависимость сопротивления от влажности у образцов, имитирующих разрушение бетона

