



Республика Саха (Якутия)
МБОУ «Сунтарский политехнический лицей-интернат»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛЕГКОГО БЕТОНА
С ГРАНУЛИРОВАННЫМ ПЕНОЦЕОЛИТОМ
В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

КЫРЕЛОВ Виталий, 10 класс

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время во всем мире остро стоит проблема энергосбережения при эксплуатации зданий и сооружений различного назначения.

В строительстве наибольший эффект энергосбережения может достигаться благодаря применению качественного стенового материала, который должен обладать набором таких свойств как **высокая пористость, малая плотность, достаточная прочность и минимальное водопоглощение.**

Другой стороной проблемы энергосбережения является экономическая составляющая. Основным фактором снижения себестоимости строительных материалов является использование **доступного, дешевого местного минерального сырья.**

ОБЪЕКТ, ПРЕДМЕТ и МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования: легкий бетон с использованием гранулированного пеноцеолита в качестве заполнителя

Предмет исследования: физико-механические характеристики легкого бетона, получаемого с использованием гранулированного пеноцеолита в качестве заполнителя

Методы исследования:

- теоретические (изучение литературы, Интернет-ресурсов);
- эмпирические (физический эксперимент, моделирование);
- математические (сравнительный анализ, метод обработки)

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования: Изучить физико-механические характеристики гранулированного пеноцеолита и опытных образцов легкого бетона с его использованием в качестве заполнителя в контексте возможности применения его в качестве стенового, конструктивно-изоляционного или теплоизоляционного материала

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1

Изучение физико-технических свойств гранулированного пеноцеолита

2

Подбор оптимального состава легкого бетона с использованием гранулированного пеноцеолита в качестве заполнителя

3

Изучение физико-механических свойств опытных образцов легкого бетона

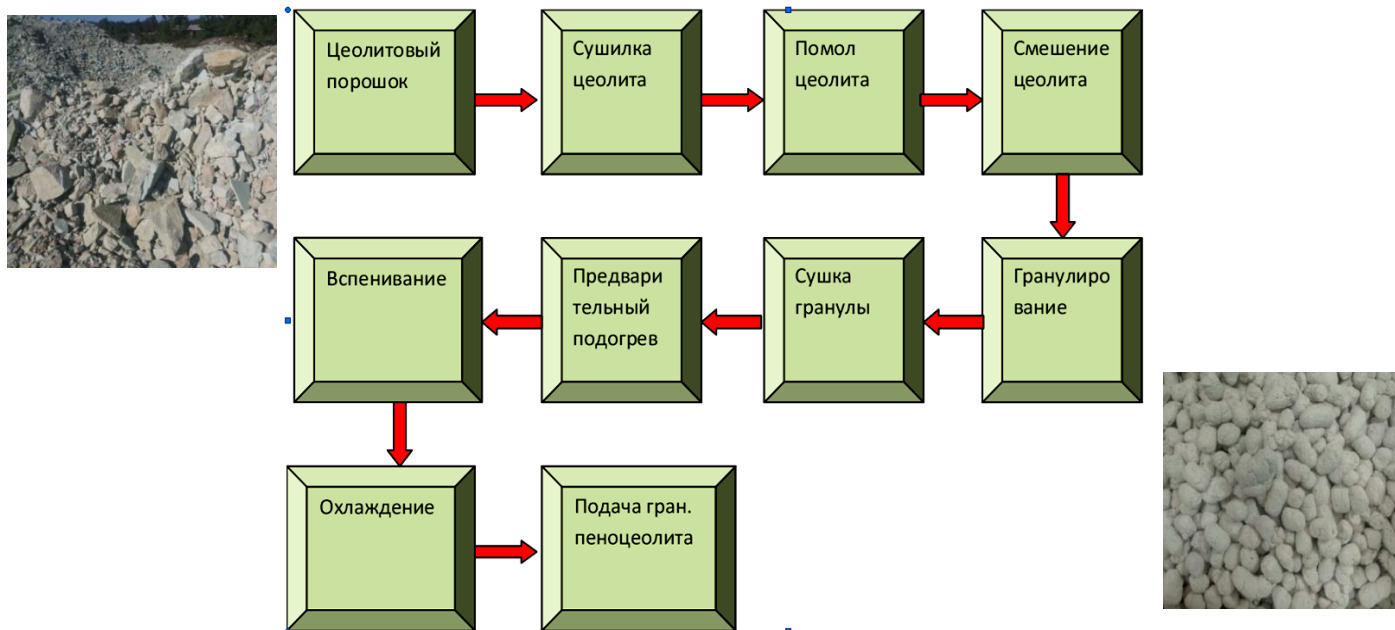
01

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕС- КИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРО- ВАННОГО ПЕНОЦЕОЛИТА

ПЕНОЦЕОЛИТ – материал с ячеистой структурой, обладающий высокой пористостью, получаемый способом высокотемпературного вспенивания цеолитовых туфов месторождения «Хонгуруу» Сунтарского улуса Республики Саха (Якутия) с туганским песком

Химический состав природного цеолита месторождения «Хонгуруу», %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O Na ₂ O	TiO ₂	H ₂ O+	H ₂ O
65,11	12,16	1,08	2,62	1,88	3,30	0,13	8,89	4,26



01

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕС- КИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРО- ВАННОГО ПЕНОЦЕОЛИТА



Эксперименты по изучению физико-механических свойств гранулированного пеноцеолита

Эксперимент 1. Определение насыпной плотности пеноцеолита

Приборы и материалы: электронные весы, мерный цилиндр, гранулированный пеноцеолит
Ход работы:

- 1) Измерение массы гранулированного пеноцеолита на весах
- 2) Измерение объема тела с помощью мензурки
- 3) Расчет насыпной плотности по формуле: $\rho = m / V$



№ опыта	$m_{ср}$ (г)	$V_{ср}$,см ³	$\rho_{ср}$, г/см ³	ρ , г/см ³ (табл.)	$\Delta\rho$, г/см ³	$\Delta\rho_{ср}$, г/см ³	ϵ
1	59,9	250	0,2396	0,23608	0,00352	0,009056	0,038
2	58,6	250	0,2344		0,00168		
3	57	250	0,228		0,00808		
4	63,9	250	0,2552		0,01912		
5	55,8	250	0,2232		0,01288		

Эксперимент 2. Определение средней плотности пеноцеолита

Приборы и материалы: электронные весы, мерный цилиндр, гранулированный пеноцеолит
Ход работы:

- 1) Измерение массы гранулированного пеноцеолита на весах
- 2) Измерение объема тела с помощью мензурки
- 3) Расчет средней плотности по формуле:

$$\rho_0 = m / V_0$$



№	Наименование	$m_{ср}$ (г)	$V_{ср}$,см ³	$\rho_{ср}$, г/см ³	ρ , г/см ³ (табл.)
1	Образец №1	6,95	16	0,43	0,39
2	Образец №2	4,25	12	0,35	
3	Образец №3	2,59	6	0,43	
4	Образец №4	1,8	5	0,36	
5	Образец №5	1,6	4	0,4	

Эксперимент 3. Расчет межзерновой пустотности и пористости гранулированного пеноцеолита

Пористостью называют долю объема пор в общем объеме пористого тела.

$$P = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_{ист}}\right) \times 100\%, \quad \text{где } \rho_n \text{ — насыпная плотность материала,} \\ \rho_{ист} \text{ — истинная плотность материала.}$$

Межзерновой пустотностью называют выраженное в процентах отношение объема межзерновых пустот ко всему объему, занимаемому наполнителем в свободной засыпке (без уплотнения).

$$M = \left(\frac{\rho_{ср} - \rho_{макс}}{\rho_{ср}}\right) \times 100\%, \quad \text{где } \rho_{ср} \text{ — средняя плотность материала,} \\ \rho_n \text{ — насыпная плотность материала.}$$

Расчеты:

$$P = \left(1 - \frac{236,08 \frac{кг}{м^3}}{2430 \frac{кг}{м^3}}\right) \times 100\% = 89,91\% \quad M = \left(\frac{390 - 236,08}{390}\right) \times 100\% = 39,46\%$$

01

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОЦЕОЛИТА

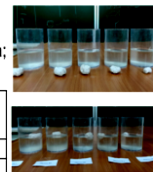


Эксперимент 4. Исследование водопоглощения гранулированным пеноцеолитом

Ход работы:

- 1) Измерение массы исследуемого материала на весах;
- 2) Помещение материала в сосуды с водой в течение одного часа;
- 3) Измерение массы материала после впитывания воды

№	Гранулированный пеноцеолит	Помещение образцов в воду, ч	Осадки	Масса материалов		w, %
				$m_{\text{сух}}$, г	$m_{\text{вп}}$, г	
1	Образец 1	1	+	3,9	4,6	17,9
2	Образец 2	1	+	3,1	4,0	29
3	Образец 3	1	+	3,0	3,7	23,3
4	Образец 4	1	+	2,2	2,9	31,8
5	Образец 5	1	+	1,0	1,2	20



Водопоглощение, %, вычисляют по формулам:

$$W_m = (m_2 - m_1) / m_1 \cdot 100\% \text{ (водопоглощение по массе)}$$

$$W_v = (m_2 - m_1) / V \cdot 100\% \text{ (объемное водопоглощение)}$$

где m_2 – масса материала в насыщенном водой состоянии,

кг;

m_1 – масса материала в сухом состоянии, кг;

V – объем материала в естественном состоянии, м³

$$W_1 = \frac{4,6 - 3,9}{3,9} \cdot 100\% = 17,9\% \quad W_2 = \frac{4,0 - 3,1}{3,1} \cdot 100\% = 29\% \quad W_3 = \frac{3,7 - 3,0}{3,0} \cdot 100\% = 23,3\%$$

$$W_4 = \frac{2,9 - 2,2}{2,2} \cdot 100\% = 31,8\% \quad W_5 = \frac{1,2 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 20\%$$

Эксперимент 5. Определение коэффициентов теплопроводности гранулированного пеноцеолита

Приборы и материалы: макет дома, гранулированный пеноцеолит, источник переменного тока, термометр, соединительные провода

Ход работы:

- 1) Изготовить макет дома, заполнить стены гранулированным пеноцеолитом
- 2) Измерить начальную температуру воздуха, $t_{\text{возд}}$
- 3) Включить источник тока, отрегулировать напряжение до 6В
- 4) Измерить продолжительность нагревания и остывания воздуха внутри макета
- 5) Определить коэффициент теплопроводности материала, α



$$Q_{\text{пер}} = A = \frac{U^2 t}{R} = 36 \text{ В}^2 \cdot 900 \text{ с} / 20 \text{ Ом} = 32400 \text{ Дж};$$

$$\Phi = \frac{Q_{\text{пер}}}{\tau_2} = \frac{32400 \text{ Дж}}{8400 \text{ с}} = 3,8 \text{ Вт};$$

$$\alpha_1 = \frac{\Phi d}{S(\tau_{\text{пер}} - \tau_{\text{ост}})} = \frac{3,8 \text{ Вт} \cdot 0,035 \text{ м}}{0,038 \text{ м}^2 \cdot (40 - 25)^\circ \text{С}} \approx 0,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ \text{С}}$$

Название утеплителя	$T_{\text{возд}}$, °С	τ_0	Δt_1 , °С	τ	Δt_1	t_2 , °С	Δt_2
Пеноцеолит	25°С	6:16	40°С	16:46	30 м	25°С	140м

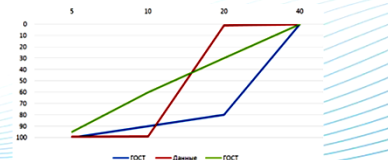
Эксперимент 6. Исследование зернового состава крупного заполнителя (гранулированного пеноцеолита)

Цель работы: проверить соответствие заполнителя нормам ГОСТ – зерновой, или гранулометрический, состав заполнителя определяется просеиванием средней пробы заполнителя через стандартные сита с размерами отверстий 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5; 10; 20; 40; 70 мм и др.

Материалы: данные по результатам испытаний состава пеноцеолитового заполнителя ЯкутПНИИС

Остатки	Размер сит, мм										
	70	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	дно
частные, г	0,00	0,00	28,70	2500,00	3,60	0,00	0,00	0,00	1,30	19,40	4,20
частные, %	0,00	0,00	1,12	97,76	0,14	0,00	0,00	0,00	0,05	0,76	0,16
полные, %	0,00	0,00	1,12	98,89	99,03	99,03	99,03	99,03	99,08	99,84	100,0

Результаты: Наибольший диаметр – 20 мм. Наименьший диаметр – 5 мм.



01

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕС- КИХ СВОЙСТВ ПЕНОЦЕОЛИТА



Физико-химические показатели гранулированного пеноцеолита

Физико-механические свойства	Значение по данным экспериментов
Средняя плотность, г/см ³	0,39
Насыпная плотность, г/см ³	0,236
Истинная плотность, г/см ³	2,34
Пористость, %	89,91
Коэффициент теплопроводности при t=+25°C Вт/(м×°C)	0,17
Водопоглощение кратковременное, кг/м ² (%)	18–31%
Морозостойкость	морозостойкий
Прочность, мПа (кгс/см ²)	хрупкий
Возгораемость	не горит
Стойкость к кислотам, орган-м и неорг-м веществам	стойкий

Вывод: Гранулированный пеноцеолит соответствует требованиям ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия» и может быть использован в качестве заполнителя для теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных бетонов.

02

ПОДБОР
ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА
ЛЕГКОГО БЕТОНА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГРАНУЛИРОВАННОГО
ПЕНОЦЕОЛИТА

Свойства строительных материалов



Исследование и анализ факторов, влияющих на свойства пористых материалов, позволяет спроектировать и получить материалы с требуемыми физико-техническими показателями

Влияние структурных уровней и условий их формирования на свойства материалов

Важные для стеновых материалов параметры качества (*механическая прочность, морозостойкость, средняя плотность, тепло- и звукоизоляция*) зависят от его макро, микроstructures и фазового состава. Водостойкость материала обуславливается также фазовым составом.

Макроструктура пористых материалов характеризуется показателями порового пространства (*диаметр, однородность распределения, ранговость, геометрия, сообщаемость и объем пор, толщина перегородок*).



Вывод: Из логики требования к интегральному критерию оптимальности состава строительного материала следует, что поиск оптимальной плотности является балансировкой между прочностью и теплопроводностью.

02

ПОДБОР
ОПТИМАЛЬ-
НОГО
СОСТАВА
ЛЕГКОГО
БЕТОНА
С ИСПОЛЬЗО-
ВАНИЕМ
ГРАНУЛИРО-
ВАННОГО
ПЕНОЦЕОЛИТА

Физико-механические характеристики керамзитобетона, пенобетона, пеностеклобетона

	Керамзитобетон	Пенобетон	Пеностеклобетон
Состав	Вода, цемент, песок + керамзит	Вода, цемент, песок и пена	Вода, цемент, тонкомолотое стекло и газообразователь
Свойства	Более хрупкий материал, чем тяжелый бетон, но возведенные из него сооружения не дают усадки и трещин, поэтому его используют и для сооружения многоэтажных зданий	Применяются в основном для строительства малоэтажных домов, гаражей и хозяйственных построек. Стены из пенобетона могут со временем давать некоторую осадку.	Благодаря относительно высокой прочности является наиболее подходящим теплоизоляционным материалом для долговременного использования в строительных конструкциях.
Недостатки	Керамзитоблочные и пеноблочные здания нуждаются в обязательной облицовке		Необходимость проведения оштукатуривания
Коэффициент теплопроводности	0,27 Вт/м ^{°C}	0,12 Вт/м ^{°C}	0,048 Вт/м ^{°C}
Удельный вес	1500 кг/куб. м.	450–900 кг/куб. м	400–600 кг/куб. м

02

ПОДБОР
ОПТИМАЛЬНОГО
СОСТАВА
ЛЕГКОГО
БЕТОНА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГРАНУЛИРОВАННОГО
ПЕНОЦЕОЛИТА

Расчетно-графическая работа по подбору состава экспериментального (опытного) материала

№	Характеристики	Бетон
1	Вид и условия эксплуатации конструкции	<u>Стеновый</u> конструкционно-теплоизоляционный блок, монолитно-каркасное строительство
2	Марка легкого бетона по средней плотности	D600
3	Коэффициент вариации	1,3
4	Условия уплотнения и твердения	Нормальное твердение, автоклавный бетон
5	<u>Удобоукладываемость</u> бетонной смеси	<u>P2</u> Осадка конуса 5–10 см
6	Вид и марка цемента	Портландцемент М400
7	Истинная плотность цемента	3,0–3,3 кг/дм ³
8	Насыпная плотность цемента, в сухом состоянии	1,0–1,4 кг/дм ³
9	Зерновой состав заполнителя	10–20 мм
10	Истинная плотность <u>пеноцеолита</u>	2341 кг/м ³
11	Насыпная плотность <u>пеноцеолита</u>	241 кг/м ³
12	<u>Влажность пеноцеолита</u>	0,0

Подбор состава бетона с пеноцеолитом в качестве заполнителя

№	Данные	Вычисления
1	Вид крупного заполнителя мелкого заполнителя	Пеноцеолит гранулированный Песок речной (Mкр=1,29), очень мелкий
2	Марка цемента	M400
3	Расход цемента	300 кг
4	Начальный расход воды	(225 – 240) л
5	Объемная концентрация крупного заполнителя	$3 = \rho - 1,15Ц$ $3 = 600 - 1,15 \times 300 = 225$ кг
6	Доля песка	$V_n = 0,4V$
7	Определение насыпной плотности заполнителей	$\rho_{насап} = 0,9 [r \times \rho_{нп} + (1-r) \times \rho_{нкp}] / (1 - V_{пуст}(1-r)) = 979,9$ кг/м ³
8	Общий расход по объему смеси крупного и мелкого заполнителей	$V_{зап} = 3 / \rho_{насап} = 255/979 = 0,26$
9	Расход песка на 1 куб. м.	$P = V_{зап} \rho_{нц} = 0,45 \times 0,26 \times 1500 = 175,5$
10	Расход крупных заполнителей	$Ц = 3 - P = 255 - 175,5 = 79,9$ кг
11	Теоретическая плотность бетона	$\rho = 3 + Ц + В$

Вывод: Подобран состав легкого бетона с использованием гранулированного пеноцеолита в качестве заполнителя со средней плотностью D600 с классом бетона B5 (цемент : гранулированный пеноцеолит : песок : вода = 1:1:1,5:1), соответствующий показателям, характерным для легких плотных бетонов с пористыми заполнителями.

02

ПОДБОР
ОПТИМАЛЬ-
НОГО
СОСТАВА
ЛЕГКОГО
БЕТОНА
С ИСПОЛЬЗО-
ВАНИЕМ
ГРАНУЛИРО-
ВАННОГО
ПЕНОЦЕОЛИТА

Методики определения физико-механических характеристик экспериментальных образцов материалов

№	Исследуемый параметр	Методика	Сущность методика
1	Средняя плотность	[1]	Метод определения плотности по массе и объему образца
2	Пористость	<u>Нестандартная методика</u>	Степень пористости определяется соотношением объема $K = \frac{V}{V}$
3	<u>Теплопроводность</u>	Расчетный метод [1]	Расчетным методом теплопроводность (λ) определяется: $\lambda = \frac{[Q][d]}{[S][t]} = \frac{Вт \cdot м}{м^2 \cdot град} = \frac{Вт}{м \cdot град}$ где d- это плотность материала
4	<u>Водопоглощение</u>	[2]	<u>Водопоглощение (W_d)</u> определяются по формуле $W_d = \frac{m_c - m_b}{m_b} * 100\%$ где m_c – масса высушенных образцов, m_b – масса водонасыщенных образцов
5	<u>Морозостойкость</u>	[3]	Морозостойкость определяется по снижению прочности и потери массы образцов при попеременном замораживании и оттаивании
6	Прочность	[1], <u>адаптированная</u>	Метод определения прочности на сжатие на экспериментальным образцам с использованием самодельного пресса
7	Огнестойкость	[1]	Методики определения содержат единые стандартизированные подходы; результаты показателей проверяют на <u>воспроизводимость</u> и заносят в сертификаты.

¹ Шишканова В.Н. Определение свойств строительных материалов: практикум /В.Н.Шишканова. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017

² Определение водопоглощаемости материалов
<https://arxipedia.ru/materialy-i-svoystva/opredelenie-vodopogloshheniya-stroitelnyx-materialov.html> (дата обращения: 15.12.2019).

³ Определение морозостойкости Авторы патента: Бычков А.С.2012-2020
<https://findpatent.ru/patent/215/2154271.html> (дата обращения: 15.12.2019)

03

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ЛЕГКОГО БЕТОНА

03

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕС- КИХ ХАРАКТЕРИС- ТИК ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ЛЕГКОГО БЕТОНА

Эксперименты по изучению физико-механических характеристик экспериментальных образцов материалов

Эксперимент 1. Изготовление опытных образцов легкого бетона с гранулированным пеноцеолитом в качестве заполнителя

Опытные образцы представляют собой формованные образцы-кубы размерами 100x100x100 мм:

№1 (цемент : пеноцеолит : изм. гр. пеноцеолит : вода в соотношении 1 : 1 : 1,5 : 1),

№2 (цемент : пеноцеолит : песок : вода в соотношении 1 : 1 : 1,5 : 1),

№3 (цемент : пеноцеолит : изм. гр. пеноцеолит : вода в соотношении: 3,77 : 1 : 2,2 : 2,7)

№4 (цемент : пеноцеолит : песок : вода в соотношении: 3,77 : 1 : 2,2 : 2,7)

№5 (цемент : пеноцеолит : вода в соотношении: 2,33 : 1,38 : 1)

№6 (цемент : пеноцеолит : изм. гр. пеноцеолит : вода в соотношении: 1,275 : 1 : 1,015 : 1,035)

Эксперимент 2. Определение средней плотности опытных образцов

№	Материал	m,(г)	V,см ³	ρ, г/см ³	ρ, г/см ³ (табл.)
1	Образец №1	15,93	9	1,77	–
2	Образец №2	13,4	9	1,46	–
3	Образец №3	9,45	9	1,05	–
4	Пенополистирол	0,104	9	0,01156	0,030
5	Бетонный блок	18,36	9	2,04	1,65-2,2

Эксперимент 3. Определение водопоглощаемости опытных образцов

№	Материалы	Помещение материалов в воду, ч	Начальный объем воды в стакане, мл	Общий объем с материалом		Осадки	Масса материалов		w,%
				V ₁ , мл	V ₂ ,мл		m _{сух} , Г	m _{вл} , Г	
1	Образец №1	1	150	180	148	+	53,1	54,26	2,2
2	Образец №2	1	150	180	148	+	43,8	45,81	4,6
3	Образец №3	1	150	180	148	+	31,5	32,5	3,17
4	Пенополистирол	1	150	150	149	-	0,42	1	58
5	Бетонный блок	1	150	165	148	+	44	52	18

$$W_1 = \frac{54,26\text{г} - 53,1\text{г}}{53,1\text{г}} * 100\% = 2,2\%$$

$$W_2 = \frac{43,8\text{г} - 45,81\text{г}}{45,81\text{г}} * 100\% = 4,6\%$$

$$W_3 = \frac{32,5\text{г} - 31,5\text{г}}{31,5\text{г}} * 100\% = 3,17\%$$

$$W_4 = \frac{1\text{г} - 0,42\text{г}}{0,42\text{г}} * 100\% = 58\%$$

$$W_5 = \frac{52\text{г} - 44\text{г}}{44\text{г}} * 100\% = 18\%$$



Эксперимент 4. Исследование теплопроводности экспериментальных образцов

Продолжительность нагревания и остывания воздуха в макетах №1, №2, №3

№	Материал	$t_{\text{возд}}, \text{C}$	τ_0	t_1, C	τ	$\Delta\tau_{1, \text{мин}}$	t_2, C	$\Delta\tau_{2, \text{мин}}$
1	Образец №1	22	14:50	40	17:40	70	26	40
2	Образец №2	22	14:50	40	17:40	65	26	90
3	Образец №3	22	14:50	40	17:40	58	26	95
4	Пенополистирол	22	14:50	40	17:40	40	26	130
5	Бетонный блок	22	14:50	40	17:40	55	26	75



$$Q_{\text{пер1}} = A \frac{U^2 t}{R} = 36 \text{ В}^2 \times 4200 \text{ с} / 2 \text{ Ом} = 75600 \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{пер2}} = A \frac{U^2 t}{R} = 36 \text{ В}^2 \times 3900 \text{ с} / 2 \text{ Ом} = 70200 \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{пер3}} = A \frac{U^2 t}{R} = 36 \text{ В}^2 \times 3480 \text{ с} / 2 \text{ Ом} = 62640 \text{ Дж};$$

$$Q_{\text{пер4}} = A \frac{U^2 t}{R} = 36 \text{ В}^2 \times 2400 \text{ с} / 2 \text{ Ом} = 43200 \text{ Дж}$$

$$Q_{\text{пер5}} = A \frac{U^2 t}{R} = 36 \text{ В}^2 \times 3300 \text{ с} / 2 \text{ Ом} = 59400 \text{ Дж};$$

$$\Phi_1 = \frac{Q_{\text{пер}}}{\tau_1} = \frac{75600 \text{ Дж}}{2400 \text{ с}} = 31,5 \text{ Вт};$$

$$\Phi_2 = \frac{Q_{\text{пер}}}{\tau_1} = \frac{70200 \text{ Дж}}{5400 \text{ с}} = 13 \text{ Вт}$$

$$\Phi_3 = \frac{Q_{\text{пер}}}{\tau_1} = \frac{62640 \text{ Дж}}{5700 \text{ с}} = 10,9 \text{ Вт};$$

$$\Phi_4 = \frac{Q_{\text{пер}}}{\tau_2} = \frac{43200 \text{ Дж}}{7800 \text{ с}} = 5,5 \text{ Вт};$$

$$\Phi_5 = \frac{Q_{\text{пер}}}{\tau_1} = \frac{59400 \text{ Дж}}{4500 \text{ с}} = 13,2 \text{ Вт};$$

$$\alpha_1 = \frac{\Phi d}{S(t_{\text{top}} - t_{\text{air}})} = \frac{31,5 \text{ Вт} \times 0,035 \text{ м}}{0,0378 \text{ м}^2 \times (40 - 22) \text{ C}} \approx 1,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ C}}$$

$$\alpha_2 = \frac{\Phi d}{S(t_{\text{top}} - t_{\text{air}})} = \frac{13 \times 0,035 \text{ м}}{0,0378 \text{ м}^2 \times (40 - 22) \text{ C}} \approx 0,668 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ C}}$$

$$\alpha_3 = \frac{\Phi d}{S(t_{\text{top}} - t_{\text{air}})} = \frac{10,9 \times 0,035 \text{ м}}{0,0378 \text{ м}^2 \times (40 - 22) \text{ C}} \approx 0,56 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ C}}$$

$$\alpha_4 = \frac{\Phi d}{S(t_{\text{top}} - t_{\text{air}})} = \frac{5,5 \text{ Вт} \times 0,035 \text{ м}}{0,0378 \text{ м}^2 \times (40 - 22) \text{ C}} \approx 0,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ C}}$$

$$\alpha_5 = \frac{\Phi d}{S(t_{\text{top}} - t_{\text{air}})} = \frac{13,2 \times 0,035 \text{ м}}{0,0378 \text{ м}^2 \times (40 - 22) \text{ C}} \approx 0,678 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ C}}$$

Эксперимент 5. Определение прочности материалов

	Название материала	Площадь поверхности, см ²	Разрушающая сила, Н	Предел прочности, МПа $R_{ср} = F/S$
1	Образец №1	9	18	2,72
2	Образец №2	9	11	1,64
3	Образец №3	9	9	1,27
4	Пенополистирол	9	4	–
5	Бетонный блок	9	17	2,07



Эксперимент 6. Определение морозостойкости матер



Эксперимент 7. Определение возгораемости материалов



Образец №1



Образец №3



Пенополистирол



Бетонный блок

Физико-механические характеристики опытных образцов материалов

№	Наименование	Значение		
		опытный образец №1	опытный образец №2	опытный образец №3
1	Средняя плотность, г/см ³	1,77	1,46	1,05
2	Пористость			
3	Коэффициент теплопроводности при t=+25°C Вт/(м·°C)	1,6	0,668	0,56
4	Водопоглощение кратковременное, кг/м ² , не более	2,2%	4,6%	3,17%
5	Морозостойкость	морозостойкий	морозостойкий	морозостойкий
6	Прочность, МПа (кгс/см ²)	2,72	1,64	1,27
7	Возгораемость	не горючий	не горючий	не горючий
8	Стойкость к кислотам, органическим и неорганическим веществам	стойкий	стойкий	стойкий

Вывод: Образец легкого бетона с гранулированным пеноцеолитом в качестве заполнителя №3 обладает меньшей теплопроводностью и водопоглощением в пределах допустимого

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

ФГАОУ ВО «Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»
Инженерно-технический институт
Кафедра «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»

Юр. адрес: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58.
Факт. адрес: 677000, г. Якутск, ул. Кулаковского,
п. 50, каб. 402.
Тел.: +7(964) 418-62-69
E-mail: valeriyf.ykt@gmail.com

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой
«ПСМИУ, ИТИ, СВФУ»
А.Е. Местников
« 26 » февраля 2020 г.


ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 02/20 от 25 февраля 2020 г.

- 1. Наименование продукции:** Легкий бетон на основе стекловидного заполнителя «лепцеолит» по ГОСТ 25820-2014 (далее «легкий бетон»).
- 2. Основание для проведения испытаний:** Устн. заявка б/н от 21.02.2020 г.
- 3. Наименование и адрес заказчика:** МБОУ «Сунтарский политехнический лицей-интернат» (далее «СПЛИ»), РС (Я), Сунтарский улус, с. Сунтар, пер. Б. Игнатьева, д. 7а.
- 4. Производитель:** МБОУ «СПЛИ».
- 5. Акт отбора образцов:** Акт отбора образцов б/н от 16.01.2020 г., акт отбора образцов б/н от 20.01.2020 г., акт отбора образцов б/н от 31.01.2020 г., акт отбора образцов б/н от 04.02.2020 г., отобранные в мастерской МБОУ «СПЛИ».
- 6. Дата получения образцов:** 21.02.2020.
- 7. Идентификация объекта испытания:** Заказчиком предоставлены образцы-кубы легкого бетона номинальными размерами 100x100x100 мм в количестве 8 шт., образцы-параллелепипеды размером 100x100x15 мм в количестве 3 шт., наличие дефектов в виде трещин, околлов ребер, раковин и инородных включений не обнаружены. На образцах нанесена маркировка: дата изготовления в соответствии с актом отбора (п.5).
- 8. Нормативный документ на метод испытаний:** ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности»; ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме»; ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».
- 9. Определяемые показатели:** плотность, коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, прочность при сжатии.
- 10. Приборы, оборудование, средства измерения:**
 - весы;
 - линейка измерительная металлическая;
 - пресс ИП-1250М-авто;
 - измеритель теплопроводности ИТП МГ-4.
- 11. Условия проведения испытаний:** температура помещения 20 °С, относительная влажность воздуха 53 %.
- 12. Дата начала и окончания испытаний:**
 - Начало: 21.02.2020 г.
 - Окончание: 25.02.2020 г.
- 13. Результаты испытаний приведены в приложении 1 на стр. 2-3.**

мечания:

1. Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.
2. Протокол не может быть частично или полностью перепечатан, или размножен без письменного разрешения испытательного центра

Инженер-испытатель

 В.И. Федоров

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

образцов легкого бетона МБОУ «СПЛИ» на прочность при сжатии

Дата испытаний	Маркировка, дата изготовления	Геометрические размеры (см)			Рабочая площадь образца (см ²)	Масса образца (г)	Плотность (кг/м ³)	Средняя плотность (кг/м ³)	Марка по средней плотности*	Разрушающая нагрузка (кН)	Прочность на сжатие (МПа)	Сред. прочность на сжатие (МПа)	Класс бетона по прочности при сжатии**
		a	b	h									
21.02.2020 г.	75/25 16.01.2020 г.	10,0	9,9	9,9	99	1542	1573	1592	D1600	60,18	6,08	6,67	B5
		10,0	10,0	9,8	100	1550	1582			62,17	6,22		
		9,9	9,8	10,0	97	1572	1620			69,09	7,12		
25.02.2020 г.	15/85 20.01.2020 г.	9,8	10,0	10,0	98	1760	1796	1795	D1800	102,09	10,42	10,55	B7,5
		9,9	10,0	9,9	99	1759	1795			105,67	10,67		
	1/1,5/1/1 нет данных	9,8	10,0	10,0	98	1027	1048	1095	D1100	49,74	5,08	4,96	B3,5
		9,8	10,0	9,9	98	1115	1149			40,29	4,11		
		10,0	10,0	9,9	100	1076	1087			48,35	4,84		

* п. 5.4.3 ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия»

** «схема Г» ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности»

Заключение: По результатам испытаний, образцы легкого бетона соответствуют маркам по средней плотности D1100, D1600 и D1800, по пределу прочности на сжатие соответствуют классам B3,5, B5 и B7,5. Представленные образцы легкого бетона на основе стекловидного заполнителя «Пеноцеолит» отвечают требованиям ГОСТ 25820-2014 «Бетоны легкие. Технические условия» по всем исследованным показателям.

Начало Приложения 1 к протоколу испытаний № 02/20 от 25.02.2020 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

образцов легкого бетона МБОУ «СПЛИ» на коэффициент теплопроводности

Дата испытаний	Маркировка, дата изготовления	Геометрические размеры (см)			Марка по средней плотности	Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м*К)
		a	b	h		
21.02.2020 г.	75/25 16.01.2020 г.	10,0	10,0	1,5	D1600	0,282
22.02.2020 г.	15/85 20.01.2020 г.	10,0	9,9	1,5	D1800	0,410
	1/1,5/1/1 нет данных	10,0	10,0	1,5	D1100	0,198

Примечание. Перед испытанием образцы высушены при температуре 105 °С до достижения постоянной массы.

Инженер-испытатель

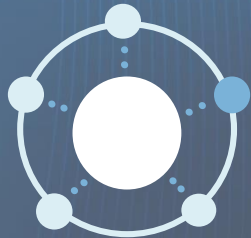


ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Современные проблемы строительного комплекса требуют создания новых или совершенствование существующих технологических процессов, что должно быть направлено на разработку и производство материалов с конкурентноспособными характеристиками и себестоимостью, отвечающими современным требованиям по теплозащите зданий и сооружений при максимальном использовании местного минерального сырья
- 2) Гранулированный пеноцеолит, отвечающий требованиям ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия» может быть использован в качестве заполнителя для теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов., а также может быть использован для засыпной теплоизоляции и усилении теплозащиты перекрытий и полов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 3) Образец легкого бетона с применением в качестве заполнителя гранулированный пеноцеолит состава 1:1:1,5:1 (цемент : гранулированный пеноцеолит : песок : вода) может быть признан материалом, отвечающим требованиям СНиП и использоваться как стеновый материал для кладки стен малоэтажных зданий и сооружений каркасной конструкции
- 4) Технология изготовления пеноцеолита предопределяет его достаточно высокую себестоимость по сравнению с другими материалами теплоизоляции, представленными на рынке. Однако учитывая транспортные расходы привозных строительных и теплоизоляционных материалов, производство легкого бетона с использованием местного сырья, а также высокий срок службы легкого бетона на его основе (более 100 лет), экологичность, огнестойкость и морозостойкость, что немаловажно для северного климата, дадут ощутимую экономическую выгоду.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!