



## АННОТАЦИЯ

Исмаилова С.А. Исследование свойств бетона на различных перлитовых песках – Челябинск: ЮУрГУ, Стр.мат., 2020, 105 с., 42 табл.  
Библиографический список – 32 наименований.

Проведен анализ технических характеристик сырьевых материалов. проведено исследование влияния наличия различных фракций в перлитовом песке на его физические свойства, а также проанализирована зависимость изменения прочностных характеристик бетона при добавлении различных фракций в его состав, выявлен оптимальный состав для бетона с использованием нескольких фракций перлитового песка исходя из полученных данных.

					<i>08.03.01.2020.080.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Исмаилова С.А.</i>			<i>Исследование свойств бетона на различных перлитовых песках</i>	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		<i>Бутакова М.Д.</i>				<i>ВКР</i>	<i>4</i>	<i>105</i>
<i>Нормоконтр.</i>		<i>Черных Т.Н.</i>				<i>ЮУрГУ (НИУ)</i>		
<i>Зав. каф.</i>		<i>Орлов А.А.</i>				<i>Кафедра «Строительные материалы и изделия»</i>		

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	9
1.1 Общие сведения о перлите .....	9
1.1.1 Физико-химические и технологические особенности процесса вспучивания перлита .....	10
1.1.2 Механизм растрескивания перлита при вспучивании .....	14
1.2 Область применения .....	17
1.2.1 Теплоизоляционные материалы на основе перлита и вермику- лита .....	25
1.2.2 Теплый пол на основе перлита .....	30
1.2.3 Перлитовые стяжки и перлитовые засыпки для полов .....	30
1.3 Технические особенности нанесения строительных материалов на основе перлита .....	31
1.3.1 Специфика нанесения перлитовой штукатурки .....	31
1.3.2 Армирование с применением сетки или проволоки .....	32
1.3.3 Повышение сцепления раствора .....	32
1.3.4 Удаление загрязнений с поверхности стен .....	33
1.3.5 Удаление неровных участков поверхности .....	33
1.4 Преимущества применения перлита в различных материалах .....	34
1.4.1 Достоинства «теплой» перлитовой штукатурки .....	35
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ .....	38
2.1 Исходные материалы .....	38
2.1.1 Вяжущее .....	38
2.1.2 Вода .....	38
2.1.3 Песок .....	38
2.1.4 Перлит .....	39
2.2 Методы анализа исследуемого материала и порядок получения пока- заний по ним .....	39

3. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	44
3.1 Методы испытаний свойств цемента .....	44
3.1.1 Определение нормальной густоты .....	45
3.1.2 Определение сроков схватывания .....	47
3.1.3 Определение предела прочности на изгиб и сжатия .....	54
3.2 Влияние перлитового наполнителя на характеристики бетона .....	58
4 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙ-	
СТВА ПЕРЛИТА И МАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ .....	69
4.1 Влияние свойств породы на удельную поверхность вспученного за-	
полнителя и изделий на его основе .....	69
4.2 Экономическая эффективность применения в строительстве вспу-	
ченного перлита, полученного из классифицированного по плотности и	
крупности сырья .....	73
4.3 Мультифрактальный подход при оценке перлитовой структуры .....	79
5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	85
5.1 Безопасность жизнедеятельности .....	85
5.1.1 Краткое описание рассматриваемого проекта, процессов, обо-	
рудования, условий труда .....	85
5.1.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	85
5.1.3 Микроклимат .....	86
5.1.4 Запыленность рабочей зоны.....	87
5.1.5 Освещение.....	89
5.1.6 Шум .....	90
5.1.7 Безопасность производственных процессов и оборудования .....	91
5.1.8 Электробезопасность.....	94
5.1.9 Пожаробезопасность .....	95
6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	98
6.1 Оценка экономической эффективности .....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	102
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	103

## ВВЕДЕНИЕ

Перлит – это гранулы вулканической лавы, получившиеся в результате быстрого охлаждения при контакте с землей и водой. Коэффициент тепловой проводимости перлита  $\lambda = 0,045$  до  $0,059$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Температура плавления от  $950$  до  $1300^\circ\text{C}$ , а начало смягчения или прилипания –  $850^\circ\text{C}$ .

Перлит химически инертный, негорючий, гигроскопичен и имеет постоянный объем. Характеризуется устойчивостью к морозу, влаге и разного рода вредителям, имеет отличные теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства. Высокая пористость в сочетании с низкой массой при относительно низкой цене делают перлит материалом очень привлекательным для строительства.

Более полувека вспученный перлитовый песок используется в качестве утеплителя, как в чистом виде, так и в теплоизоляционных изделиях. Уникальные свойства вспученного перлита обусловили широкое применение этого материала в промышленности и строительстве.

Легкий ( $50$ - $250$  кг/м<sup>3</sup>), негорючий, пористый песок-щебень сегодня используется для тепловой изоляции зданий, сооружений, оборудования. Он работает при температурах  $-200$   $+875^\circ\text{C}$ . С его помощью решают вопросы огнезащиты, акустической изоляции, его используют в качестве наполнителей в легких бетонах, красках, линолеуме и др.

Мировой уровень производства вспученного перлита достигает  $20$  млн. м<sup>3</sup> в год. В 90-х годах ежегодный рост объемов производства этого материала в мире в среднем составил около  $10\%$ .

Лидером в производстве вспученного перлита и продукции из него являются США. Там производится около  $7$  млн. м<sup>3</sup> в год этого продукта.  $70\%$  вспученного перлита используется в строительстве. Для того чтобы представить величину этого объема, достаточно сказать, что в 2001 году Россия произвела и получила по экспорту всех теплоизоляционных материалов, включая перлит, около  $8,5$  млн. м<sup>3</sup>.

На начало 90-х годов в Советском Союзе объем выпуска вспученного перлита составлял 2,0 млн. м<sup>3</sup>, причем 90% производилось в России. Сегодня годовой объем производства вспученного перлита в России не превышает 240 тыс. м<sup>3</sup>.

Анализ зарубежного и отечественного опыта применения вспученного перлита в строительстве показывает, что помимо традиционных сфер применения этого материала, известных как в России, так и за рубежом, появились и интенсивно развиваются новые направления, которые пока еще мало освоены.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Общие сведения о перлите

Перлитом называют природный материал, породу, представляющую из себя вулканическое стекло, в составе которого 70-75% SiO<sub>2</sub>; 12-14% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3-5% NaO, примерно столько же K<sub>2</sub>O, до 1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO. С геологической точки зрения возникновение перлита связано с тем, что на кромке потока лавы, в местах первичного соприкосновения магматических расплавов и земной поверхности, в результате быстрого охлаждения (закалки) лавы формируется вулканическое стекло – обсидиан. В дальнейшем подземные воды проникают сквозь обсидиан, происходит его гидратация и образование гидроксида обсидиана – перлита.

Для перлита характерна мелкая концентрически-скорлуповатая отдельность (перлитовая структура), по которой он распадается на округлые ядра (перлы), напоминающие жемчужины с характерным блеском. Среди других вулканических пород перлит отличается наличием конституционной воды (более 1%). Пористость может составлять 8-40%. Перлит может иметь черную, зеленую, красно-бурую, коричневую, белую окраску различных тонов. Разновидности перлита: обсидиановый (с примесями обсидиана), сферолитовый (с примесями полевого шпата), смолянокаменный (однородный по составу), стекловатый и другие. По текстурным признакам выделяют массивный, полосчатый, брекчиевидный и пемзовидный перлиты.

В перлите содержится около 1...2% (иногда больше) связанной воды. При обжиге (1000... 1250°C) перлит размягчается и под давлением паров высвобождаемой воды сильно вспучивается. Коэффициент вспучивания – до 10...12. Чем он больше, тем меньше расход сырья на единицу объема продукции. Поэтому многие предприятия, производящие легкий вспученный перлит, работают на привозном сырье с умеренной себестоимостью продукции. Однако если коэффициент вспучивания меньше, удельные затраты на перевозку сырья увеличиваются и себестоимость продукции возрастает.

В соответствии с ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные» предусматриваются марки по насыпной плотности для песка 75...500, для щебня – 200...500. Прочность щебня при сдавливании в цилиндре для указанных марок должна быть не менее 0,1...0,6 МПа. Вспученный перлит отличается от других пористых заполнителей высоким водопоглощением, которое тем больше, чем больше степень вспучивания. В стандарте водопоглощение щебня ограничивается: для марки 500 – не более 30%, для марки 400-50%, для марки 300-75%, для марки 250-100%, для марки 200-125% по массе.

В отличие от других пористых заполнителей мелкие фракции вспученного перлита легче крупных. Это объясняется особенностями вспучивания стекловидных пород по сравнению, например, с глинистыми. Так, при производстве керамзита мелкие глиняные гранулы (до 5 мм) часто совсем не вспучиваются, так как еще до размягчения теряют все образующиеся при обжиге газы. Перлитовая же стекловидная порода удерживает газы, и чем лучше она прогревается в мелких гранулах, тем интенсивнее вспучивается.

1.1.1 Физико-химические и технологические особенности процесса вспучивания перлита.

Обжиг перлита, являясь основной технологической операцией, в значительной степени предопределяет главные качественные характеристики получаемого вспучиваемого материала. Вспучивание предварительно диспергированной породы происходит в момент приобретения ею пластично-вязкого (пиропластического) состояния при нагревании и связано с уходом содержащейся в нем молекулярной воды в виде пара и, отчасти, за счет выделения CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>. Химически связанная вода, находящаяся в перлите в виде гидроксила OH-, имеет цеолитный характер и удаляется из него без разрушения кристаллической решетки.

Эффективность процесса вспучивания перлита оценивается коэффициентом вспучивания, т. е. отношением объемов вспученной породы к исходной, который может находиться в пределах 8-15.

Химический состав оказывает существенное влияние на вязкость и поверхностное натяжение размягченной породы. В частности, наличие щелочей снижает



температуру размягчения, поэтому  $N_2O+K_2O$  в сырье должно быть не менее 4%. Для нормального ведения процесса вспучивания требуется повышенная вязкость и пониженное поверхностное натяжение массы. На рисунке 1 показана зависимость средней плотности вспученных перлитов от температурных пределов, в которых находится рабочая вязкость размягченной стекломассы.

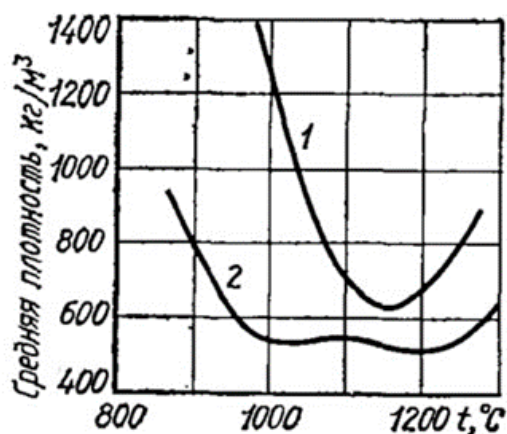


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности вспученных перлитов от температуры вспучивания

Правильный подбор температурного режима обжига перлита является необходимым условием получения качественной продукции. Обычно температура термообработки перлита, при которой достигается необходимое соотношение между вязкостью размягченной стекломассы и давлением газовой фазы, образующейся главным образом за счет испарения содержащейся в перлитовом сырье «эффективной» воды, лежит в пределах 850-1250°C.

Вспучиваемость перлита находится в прямой зависимости от его дисперсности (рисунок 2). В производственных условиях коэффициент вспучивания зернового перлита (размер зерен до 1,5 мм) должен быть не менее 6, кускового (5-10 мм) – не менее 4.

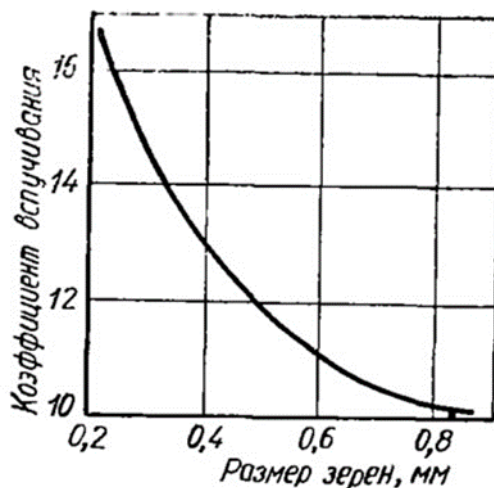


Рисунок 2 – Зависимость вспучиваемости перлита от размера зерен

Перлитовую породу добывают открытым способом и, как правило, измельчают и фракционируют на дробильных заводах, расположенных в карьерах. Иногда процесс диспергирования породы совмещают с ее подсушкой для удаления свободной воды.

Обязательным условием хорошей вспучиваемости перлита является содержание в нем 1-3% «эффективной» воды. В этом случае сырье вспучивается по одностадийной схеме, т. е. сразу подается на обжиг. Если количество содержащейся воды превышает оптимальное, то вспучивание ведется в две стадии: вначале при температуре 200-400°С сырье подвергают термообработке для удаления избыточной влаги, а затем перлит с оптимизированным водосодержанием подают в зону высоких температур, где он вспучивается. Во вспученном состоянии перлит представляет собой светлый сыпучий теплоизоляционный материал в виде мелких (песок) или более крупных (щебень) зерен с высокопоризованной структурой.

Для термообработки перлита можно использовать вращающиеся барабанные печи, различные сушилки, печи кипящего слоя и другие тепловые агрегаты. Наиболее часто применяют вращающиеся противоточные печи (сушильные барабаны) длиной 4-6,5 м, внутренним диаметром 0,45-0,9 м. Как правило, сушильные установки и печи обжига технологически связаны в единую линию и термоподготовленное сырье сразу же подается на обжиг, что уменьшает теплотери процесса в целом.

В настоящее время наибольшее распространение для обжига перлита получили шахтные и вращающиеся печи (рис. 3).

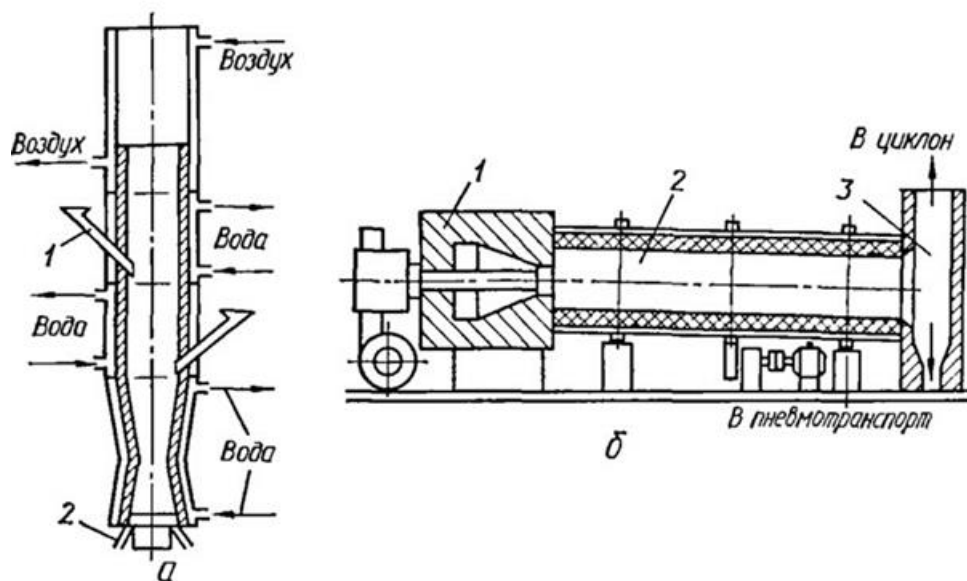


Рисунок 3 – Печи для вспучивания перлита

а) шахтная: 1 – загрузочная воронка; 2 – горелка; б) вращающаяся: 1 – топка; 2 – барабан; 3 – разгрузочная камера.

Шахтная печь, показанная на рисунке 3, имеет внутренний диаметр 0,6 м и высоту 7,7 м. Измельченный материал подают через загрузочные воронки, установленные на различных уровнях, что позволяет изменять высоту свободного падения частиц и таким образом регулировать режим их вспучивания.

Мелкие частицы перлита, попадая в поток раскаленных газов, движущихся снизу-вверх, вспучиваются сразу и уносятся в циклоны. Более крупные достигают факельной зоны, вспучиваются, находясь некоторое время во взвешенном состоянии, и за счет уменьшения средней плотности уносятся из печи вместе с дымовыми газами в системы улавливания, где дифференцируются по фракциям, а отработанные газы обеспыливаются.

Время вспучивания перлита в шахтной печи во взвешенном состоянии исчисляется секундами.

Вспучивание более крупного сырья (до 12 мм) реализуют во вращающихся печах за счет удлинения пребывания его в зоне обжига. Время обжига зависит от фракционного состава сырья. Для частиц размером 3-5 мм оно составляет около

15 с, для фракций 7-10 мм – 30-45 с. Общая продолжительность обжига, как правило, 3-5 мин. Печи установлены под углом до 8°, длина их 6-10 м, диаметр 0,5—1,5 м, скорость вращения 8-22 с-1.

С учетом конструкционных и технико-экономических особенностей шахтных печей их эксплуатация целесообразна для получения перлитового песка, а вращающихся – для производства перлитового щебня и крупного песка.

ВНИИстром разработал тепловую установку для обжига перлитового сырья во взвешенном состоянии, где вместо газового теплоносителя (дымовых газов) используется твердый инертный теплоноситель (кварцевый песок 0,6-1,2 мм). В этом случае обеспечивается более интенсивный теплообмен, сокращение расхода топлива и длительности вспучивания. Газ сжигают в слое песка, перлит размером 5-15 мм обжигают в кипящем слое раскаленного твердого теплоносителя. Более легкий вспученный перлит всплывает на поверхность кипящего слоя и выгружается через специальный люк. Частично унесенный теплоноситель после сепарации снова возвращается в печь с помощью пневмотранспорта.

#### 1.1.2 Механизм растрескивания перлита при вспучивании.

В зависимости от области применения требования, предъявляемые к гранулометрическому составу вспученного перлитового песка, изменяются. Вместе с тем, пока не удастся надежно управлять формированием гранулометрического состава в процессе вспучивания.

Многие исследователи, несмотря на некоторые различия в оценке причин измельчения (растрескивания) перлита в процессе вспучивания, отмечают там, где материал подвергается наиболее, быстрому воздействию температуры, выход мелких фракций самый высокий. Одновременно отмечается, что величину растрескивания перлита можно снизить, уменьшив в нем содержание воды.

Известные представления о причинах растрескивания в целом отражают характер процессов. Однако они не дают возможности судить о том, каким образом формируется гранулометрический состав вспученного перлита в ходе этих процессов.

Непременным условием вспучивания перлитов является термоудар. Это объясняется необходимостью совмещения времени размягчения твердой фазы породы и выхода из нее летучих компонентов, в основном воды. Определяющим показателем термоудара является возникновение за весьма короткое время (доли секунды) температурного скачка в зерне и обусловленных деформаций и напряжении. Когда величина напряжений превышает предел прочности при сжатии или растяжении, материал разрушается.

Наибольшее влияние на скорость прогрева частиц перлитов оказывает теплопроводность, которая в свою очередь зависит от пористости материала, его объемной массы. Объемная масса перлитов даже одного месторождения может изменяться в широких пределах. Для Арагацкого месторождения от 800 до 2400 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому перлитам, характеризующимся малой объемной массой и соответственно малой теплопроводностью, свойственен медленный прогрев, резкий перепад температур между слоями, а, следовательно, и малая величина откалываемого слоя, т. е. более мелкие растрескивание при вспучивании. К тому же разрушению частиц пористых перлитов способствует незначительная прочность таких пород. Величина откалываемых частиц у плотных перлитов больше.

Приведенные соображения хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными при исследовании гранулометрического состава перлита Арагацкого месторождения, вспученного в вертикальной лабораторной печи при температуре 1080°C и скорости газов в печи 6,2 м/с. Так, выход фракций более 2 мм из сырья с различной объемной массой при размере частиц от 0,63 до 1,25 мм увеличивается с ростом объемной массы породы с 10-12% по массе при исходной объемной массе сырья 1100 кг/м<sup>3</sup> до 45-48% при исходной объемной массе 2100 кг/м<sup>3</sup>.

При малом размере частиц сырья (до 0,2 мм) вспучивание идет без растрескивания, поэтому увеличение размера частиц первоначально ведет к увеличению выхода более крупных фракций (кривые 3, 4, 5) и снижению доли мелких фракций. Начиная с размера частиц около 0,2 мм происходит их растрескивание. Это приводит к увеличению выхода мелких фракций и снижению доли крупных.

Дальнейшее увеличение размера частиц исходного сырья характеризуется увеличением выхода мелких фракций размером 0-0,315 мм и крупных размером более 1,25-2,5 мм при снижении выхода фракций 0,315-1,25 мм.

Рассматривая нагрев перлита как процесс, происходящий при нестационарном режиме, следует учитывать граничные условия, которые, задают либо распределение температуры или плотности теплового потока на поверхности частицы, либо температуру окружающей среды и закон теплообмена между телом и средой. В качестве простейшего соотношения, связывающего плотность теплового потока на границе температурой ее поверхности и окружающей среды, применяется закон Ньютона – Рихмана.

В процессе вспучивания перлита, проходящего с растрескиванием. следует иметь в виду неоднозначность температуры поверхности частицы от цикла к циклу. В самом деле, если частица достаточно велика и первый откол поверхности произошел при граничных условиях – температура поверхности 20°C, температура в печи 1100°C, то второй термоудар произойдет уже при других граничных условиях – температура новой поверхности близка к критической, температура в печи та же. Поскольку плотность теплового потока, во втором случае будет меньше, а сама частица несколько прогрета, толщина поверхностного сжимающегося слоя, а, следовательно, и размер отколов при втором термоударе будет больше размеров первого. После второго цикла растрескивания, если размер частицы еще достаточно велик, произойдет третий откол поверхности, Размер отколов любого цикла после первого был бы одинаков, если бы не менялась температура газов в печи на пути движения частицы. В реальных условиях и, в частности, в вертикальной печи перепад температур по высоте вспучивания может превышать 100°C. Загрузка материала в печь производимого геля, как правило, в наиболее горячую область зоны вспучивания, здесь частицы подвергаются первому термоудару, а затем, слой за слоем, под действием гравитационных сил и динамических сил восходящего потока пульсируют и в зоне вспучивания до тех пор, пока не вспучатся последние остатки частиц.

Траектория в зоне вспучивания, а, следовательно, и условия, в которых происходит их терморазрушение, зависит от размера частиц, их объемной массы, геометрии рабочего пространства печи и гидродимимического режима в ней. Именно различием граничных условий и ты термоударов объясняется размеров первого откола, а как же изменение и многозначность отколов и перлитовом песке, вспученном из части различного исходного размера.

Полученные экспериментальные данные позволяют высказать ряд положений о механизме растрескивания перлита при вспучивании в условиях термоудара и наметить пути получения вспученного перлита с заданным зерновым составом в вертикальных печах. Это использование и качестве сырца перлита требуемой объемной массы и гранулометрического состава; подбор и соблюдение таких режимов термической обработки перлитового сырца, которые обеспечивали бы необходимые начальные условия вспучивания; оптимизация конструкции печен таким образом, чтобы форма рабочего пространства, аэродинамика и распределение температур обеспечивали получение готовой продукции с заданным гранулометрическим составом.

## 1.2 Область применения

Область применения перлита, который нередко называют «легким жемчугом», невероятно широка. Продукт стал незаменимым в качестве долговечного тепло- и шумоизоляционного материала в зданиях и оборудовании, в качестве наполнителя в линолеумах, лакокрасочных материалах и легком бетоне. Учитывая дороговизну современных обогревающих энергоносителей, использование перлитового песка становится особенно ценным и приоритетным в наше время, ведь тепловые потери через стены могут быть огромными. Надежный утеплитель прекрасно зарекомендовал себя в области обустройства полов, стен, межэтажных перекрытий и чердаков.

Теплосберегающая перлитовая штукатурка популярна в сфере индивидуального строительства в отапливаемых и неотапливаемых пространствах. Трехсантиметровый слой теплоизоляционной смеси, нанесенный непосредственно на

кирпич, дерево, бетон или металлическую сетку, равноценен кирпичной кладке толщиной в 15 см. Далее перлитовую смесь просто покрывают краской или оклеивают обоями.

Теплоизоляционные перлитовые штукатурки. Штукатурки, в которых песок заменен перлитом, сохраняют свои свойства. Они легкие, отлично изолируют термически и акустически. Их можно использовать внутри и снаружи помещений. Перлитовая штукатурка является проницаемым для паров и газов, позволяет стене дышать, а кроме того является негорючей. Перлит также является одним из двух основных специальных заполнителей, используемых в штукатурках для реставрации старинных стен для удаления из них влаги и растворимых солей, вызывающих их коррозию.

Одно сантиметровой слой перлитовой штукатурки, с точки зрения теплоизоляции заменяет: 0,5 см пенопласта, 5 см кирпича или 8 см традиционной штукатурки на основе песка. Штукатурка, используемая с обеих сторон стены, удваивает этот эффект. Применяя, например, снаружи слой 6 см, а внутри 3 см заменяет 4,5 см пенополистирола или 45 см кирпича или 56 см традиционной песочной штукатурки. Если слой перлитовой штукатурки толще, чем 6 см, то необходимо использовать штукатурную сетку. Перлитовую штукатурку можно красить акриловой или другой краской. Что касается гипсоперлитовых штукатурок, увеличение в них доли объема гипса улучшает прочностные характеристики. Для толщины штукатурки 18 см, объемом  $500 \text{ кг/м}^3$  (соотношение гипс/перлит – 1:1) параметры прочности составляют 1,25 Мпа (сжатие) и 0,57 Мпа (изгиб), для массы  $700 \text{ кг/м}^3$  (гипс/перлит до 3:1) параметры прочности 2,97 Мпа (сжатие):1,73 Мпа (изгиб). При тонких слоях параметры прочности выше. При толщине слоя 14 см и  $700 \text{ кг/м}^3$  раствора прочность на сжатие составляет 4,61 Мпа, а на растяжение 2,03 Мпа. Для  $500 \text{ кг/м}^3$  соответственно 2,19 Мпа (сжатие):0,91 Мпа (изгиб).

Благодаря своим хорошим теплоизоляционным свойствам она широко применяется во многих строительных процессах:

– в организации отделки фасада зданий, требующих дополнительную теплоизоляцию;



- работы по звуко- и теплоизоляции стен, внутренних или наружных;
- перлитовая штукатурка используется для утепления поверхностей стен, откосов для окон или проемов для дверей там, где к ним присоединяются другие вертикальные площади;
- применяется в качестве утеплителя для канализационных и водопроводных труб;
- является хорошим утеплителем для перекрытий потолка и пола;
- для понижения шума во время внутренних ремонтно-строительных работ
- за счет легкости монтажа и природного происхождения перлитовая штукатурка имеет такие преимущества:
  - применяя ее при отделке можно отказаться от применения арматурной сетки;
  - раствор можно наносить на обработанные и необработанные стены;
  - благодаря повышенной адгезии (сцепления) за небольшое время выполняется большой размер работ;
  - на обработанной поверхности нет мостиков холода;
  - перлитовая «теплая» штукатурка предотвращает возникновение крыс и мышей.

«Теплую» штукатурку с перлитовым наполнителем различают по виду используемого вяжущего компонента.

На цементной основе:

Применение цементного вяжущего приводит к повышению стойкости и водонепроницаемости покрытия. Это позволяет использовать цементно-перлитовую штукатурку для наружной отделки стен сооружений, которые эксплуатируются в зонах повышенной влажности. Приготовленный раствор наносится вручную или механизированным способом (отделка происходит в 5-6 раз быстрее, чем при ручном). Набор заданной прочности длится около месяца, а теплоизоляционные свойства выявятся в течение двух месяцев, когда перлитовое покрытие полностью высохнет.

На гипсовой основе:

При самостоятельном изготовлении гипсоперлитовой штукатурки в домашних условиях придется столкнуться с такими сложностями: увеличение плотности раствора за счет разрушения перлитового зерна во время перемешивания; недостаточный удельный вес, требуемый для обеспечения заданных теплоизоляционных свойств; плохая удобоукладываемость. Предпочтительней использовать готовую смесь, состав которой разработан и проверен специалистами. Обычно она содержит дополнительные модифицирующие добавки, повышающие удобоукладываемость и срок службы раствора.

На известковой основе:

Известковая штукатурка с перлитом обеспечивает крепкое сцепление с пористыми минеральными поверхностями и легко затирается, поэтому этот состав обычно применяется при отделке стен из ячеистобетонных блоков или различных видов керамики. Данный раствор представляет собой бактерицидный и экологически чистый продукт с высоким антибактериальным действием. Для увеличения прочности покрытия в его состав, как правило, добавляют портландцемент.

Для наполнения пустот в стенах, блоках и кирпичах, а также для затирки швов и щелей можно использовать строительный раствор из вспученного перлита и цемента или извести/гипса. Кладка на такие растворы не создает так называемых «холодных мостов». Теплотехнические и прочностные характеристики перлитовых растворов внушают доверие: средняя плотность равна  $650 \text{ кг/м}^3$ , степень теплопроводности –  $0,2 \text{ Вт/м}^*\text{К}$ . Состав раствора по своим свойствам близок к характеристикам легковесного кирпича или ячеистого пенобетона. Перлитцементный раствор, замешанный в соотношении 1:4, теплее обычного раствора из цемента и песка в 8 раз, а его звукоизоляционные свойства превышают характеристики кирпича в 1,5 раза. Для дополнительной гидроизоляции стен из газобетона прибегают к использованию гидрофобных перлитцементных штукатурок.

Довольно распространенным теплоизоляционным материалом сегодня считается и раствор из перлитового песка, минеральных, асбестовых, целлюлозных добавок и натуральных хлопковых и шелковых отходов. Для армирования штука-

турного перлитового раствора используют специальные добавки в виде стеклянных и целлюлозных волокон длиной 1 см.

Формованные изделия из перлитового песка используются внутри и снаружи зданий, при перепланировке и в новом строительстве. Около 60% вспученного перлита идет на изготовление формованных изделий с добавлением цемента, гипса, синтетической смолы, битума или жидкого стекла в качестве связующего компонента.

Перлитоцементные плиты нашли свое применение в сфере теплоизоляции жилых зданий, промышленных сооружений и оборудования с температурой изолируемой поверхности до 600°. Их также успешно используют в противопожарных целях в деревянных и железобетонных конструкциях.

Перлитосодержащий кирпич известен как декоративный и теплоизоляционный материал и применяется для внутренней и внешней отделки строений. Средняя теплопроводность кирпича составляет 0,176 Вт/м\*К.

Асбоперлитоцементные изделия с распушенным асбестом эффективно изолируют промышленное оборудование с температурой изолируемой поверхности до 600°.

Силикатно-перлитовые изделия используют в теплоизоляции трубопроводов и промышленных поверхностей с температурой до 900°. Мелкие частицы перлитового песка прессуются с известково-шлаковым, известково-песчаным или известково-зольным связующим. Средняя теплопроводность материала равна 0,239 Вт/м\*К.

Битумоперлитные изделия востребованы в строительстве при утеплении, гидро- и пароизоляции совмещенных кровельных конструкций, холодильного оборудования. Модифицированный смолами битумоперлит повышает свою термостойкость до 190° и укладывается при изоляции теплосетей. Его суточное влагопоглощение достигает 5%.

Карбоперлитовые изделия обработаны углекислыми газами и состоят из вспученного перлита и извести в соотношении от 1:8 до 1:10. Материал исполь-

зуют для тепловой изоляции трубопроводов и электроэнергетического оборудования с температурой поверхности до 650°.

Гипсоперлитовые изделия производят из вспученного перлита и строительного гипса в пропорциях 1:7 или 1:8 и рекомендованы в сфере теплоизоляции промышленного оборудования и газопроводов с температурой поверхности до 600°.

Перлитобетонные блоки размером в 3-4 кирпича состоят из перлитового песка и связующих элементов: песка, воды и портландцемента. Материал не подвержен расслоению, не требует уплотнения и широко используется в индивидуальном строительстве, для тепло- и шумоизоляции стяжек пола, для возведения теплосберегающих монолитных стен.

Базальтоперлитовые волокнистые изделия сравнительно недавно нашли свое применение в сфере теплоизоляции. В состав конструкционного материала входит вспученный перлитовый песок, базальтовое волокно и бентонитовая глина или портландцемент в качестве вяжущего компонента. Средняя теплопроводность таких изделий равна 0,040 Вт/м\*К.

Пластперлитовые теплоизоляционные блоки, полученные на основе кумароновой и формальдегидной смол, отличаются особой прочностью, влагостойкостью и низким водопоглощением. Средняя теплопроводность плит составляет 0,07 Вт/м\*К.

Перлитовые кирпичи, плиты и блоки могут быть сформованы по технологии прессы или литья в рельефных формах, а также посредством вибрирования или выдавливания в стальных и деревянных формах.

- Основной компонент легких гипсовых штукатурок, теплозащитных кладочных и штукатурных растворов;
- добавка, снижающая вес, улучшает производительность и пластичность гипсовых штукатурок, цементно-известковых кладочных растворов и клеев для плитки;
- основной термоизоляционный материал в теплозащитных кладочных растворах и теплозащитных штукатурках, выполняемых на строительной площадке;

– основной компонент теплозащитных перлитобетонных наливных полов. Такой раствор можно сделать самостоятельно, смешав в нужных пропорциях 3 части перлита, цемент и воду. Приготовленный своими руками перлитобетон можно использовать для заливки пола, или оштукатурить потолок. При этом вы можете решить проблемы с неровностями поверхности, отказавшись от использования пенополистирольных плит;

– компонент, уменьшающий вес гипсовых отливок и бетонных элементов. Применяется для снижения веса различных фасадных плиток, сборных железобетонных конструкций, гипсовых слепков или декоративных бетонных элементов, подоконников;

– рыхлая засыпка для теплоизоляции стен и перекрытий;

– основной компонент перлитобетонных изоляционных плит;

– перлит класса «0» как компонент дающий эффект «жемчуга» в декоративных красках, а также классов I и II для эффекта «Рауфазер»;

– как порошок или в виде перлитобетона используется в качестве дополнения или замены пенополистирола в полах и перекрытиях.

– перлит, в зависимости от умения обращения с ним применяют дополнением к классическим изоляционным материалам, или основным материалом применяется для утепления полов и чердаков.

Перлитобетон с точки зрения теплоизоляции и звукоизоляции является одним из лучших строительных материалов. Перлитобетон можно применять для утепления полов, перекрытий, заливки стен, потолков, крыш. Смешав соответствующим образом компоненты, можно получить различные перлитобетоны. Во многих случаях его можно применять вместо пенополистирола – нет необходимости в трудоемких операциях по утеплению полов пенопластом с последующей заливкой стяжки. Также его можно применять при укладке теплого пола. Другие возможности промышленного использования перлитобетона:

– литье фундаментов под оборудование, работающее в экстремальных температурных условиях – от -200 до +800°С;

- производство армированных бетонных конструкций, дымовых труб, энергетических и холодильных установок;
- производство однослойных панелей для строительства внешних стен типа сэндвич;
- изготовление полов для ванных комнат, гардеробных, изоляции бассейнов.

Огнезащитные перлитовые штукатурки. Штукатурка потолка слоем 3,5 см обеспечивает 90-минутную огнестойкость, колоны и опоры, оштукатуренные 6 см слоем, обеспечивает 180-минутную огнестойкость. А слой штукатурки (500-700 кг/м<sup>3</sup>) толщиной 12 см обеспечивает огнестойкость 1-й степени для объектов промышленного и общественного назначения.

Строительные клея на основе перлита. Увеличение объемной доли перлита в клее вызывает снижение его прочностных параметров. В обмен на это улучшаются: термоизоляционные свойства, устойчивость к огню, легкость изделий, текучесть, адгезия, звукоизоляция.

Теплоизоляционная легкая стяжка для пола. В строительстве жилых, общественных и промышленных зданий с целью создания надлежащей теплозащиты в перекрытиях над подвалом и обеспечения надежной звукоизоляции межэтажных перекрытий применение перлитовых растворов является оптимальным, так как данные растворы отвечают требованиям СНиП и тех. условиям. Основными требованиями к покрытию полов по бетонному основанию вследствие высокой теплопроводности и теплоусвоение железобетона являются:

- коэффициент теплоусвоения – не более 5 ккал\м<sup>2</sup>·°С
- предел прочности при сжатии – не менее 45 кг\см<sup>2</sup>.

Этим требованиям соответствуют цементно-песчаные перлитовые растворы, в состав которых входит вспученный перлит марки ВПК\*\* насыпным весом 80-150 кг\м<sup>2</sup>. Для увеличения подвижности смеси можно вводить поверхностно-активные воздухововлекающие добавки. Толщина заливки по межэтажным перекрытиям составляет 30 мм, над не отапливаемым техническим подпольем – не более 100 мм.

Особой популярностью пользуются такие перлитовые растворы при монтаже систем «Теплый пол», поскольку перлит не склонен к расширению при нагреве, не дает усадки, и абсолютно не горюч.

Теплопроводность  $\lambda - 0,10 \text{ Вт/(мК)}$ .

Паропроницаемость  $\mu - 0,15$ .

Прочность на сжатие – 45-50 кг/см<sup>2</sup>.

Коэффициент звукопоглощения при 1000Гц – 0,5.

При замесе перлитовых растворов, первоначально смесь получается сухая и рассыпчатая, не спешите добавлять еще воды, дайте замесу постоять 10-15 мин, за это время перлит отдаст воду. Перемешайте окончательно смесь для получения пластичного раствора. Вода дается в примерном количестве. Точное количество подбирается в зависимости от таких показателей, как влажность воздуха и частота песка.

#### 1.2.1 Теплоизоляционные материалы на основе перлита и вермикулита

На данный момент в России предложены и применяются два основных типа систем тепловой санации зданий: оклеечная изоляция и системы вентилируемых фасадов. Выбор той или иной системы зависит от их стоимости.

Для утепления существующих зданий может применяться система, используемая в Европе более 50 лет. Засыпная перлитовая изоляция стен – негорючая, отсутствуют швы. Она перекрывает тепловые включения, имеющиеся в кладке. Используется перлит, предварительно обработанный силиконовыми гидрофобизаторами. Характеристики систем представлены в таблице 1.

Изоляция сухих полов и перекрытий вспученным перлитом имеет следующие достоинства: быстрый монтаж, безусадочность, снижение нагрузки на перекрытия, звукоизоляция, высокий уровень теплозащиты при применении по грунту.

При защите стеновых покрытий от воздействия влаги используют гидрофобные перлитовые штукатурки, обладающие высокими теплозащитными свойствами и высокой паропроницаемостью.

При использовании легких кладочных растворов обеспечивается теплотехническая однородность кладки и возможность работы при отрицательных температурах. Производятся в виде сухих строительных смесей, которые различаются в зависимости от назначения и прочности.

Таблица 1 – Применяемые составы на основе перлита

Описание системы	Плотность утеплителя, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность утеплителя в условиях эксплуатации Б, Вт/(м·°С)	Толщина утеплителя для обеспечения сопротивления теплопередаче R = 2м <sup>2</sup> ·°С/Вт, мм	Содержание полимеров или органических связующих в утеплителе, %	Горючесть утеплителя	Долговечность системы, лет
Оклеечная, с пенополистирольным утеплителем	15–35	0,041–0,045	80–90	100	ГЗ-Г4	Не менее 25
Описание системы	Плотность утеплителя, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность утеплителя в условиях эксплуатации Б, Вт/(м·°С)	Толщина утеплителя для обеспечения сопротивления теплопередаче R = 2м <sup>2</sup> ·°С/Вт, мм	Содержание полимеров или органических связующих в утеплителе, %	Горючесть утеплителя	Долговечность системы, лет
Оклеечная, с минераловатным утеплителем	100-160	0,046-0,045	90-100	3,8-4,5	НГ	Не менее 25
Вентилируемый фасад с минераловатным утеплителем	85-100	0,045	90	3,5–3,8	НГ	Не менее 50
Система с засыпкой вспученным перлитом	85–100	0,042	84	0,013	НГ	50–70

Детальный анализ составов и технологий теплоизоляционных материалов на основе перлита и вермикулита побудил авторов к проведению исследований по созданию композиционных материалов на их основе в соответствии с предъявляемыми новыми требованиями. При этом решались следующие задачи:



- замена жидкого стекла как самостоятельного связующего компонента на синтезируемое в процессе создания теплоизоляционного материала;
- полная или частичная замена дорогостоящего гидроксида калия на более дешевый и экологически безопасный компонент;
- повышение прочности синтезируемых материалов, а также улучшение параметра качества «прочность – плотность».

В таблице 2 представлены характеристики материалов, выпускаемых в Украине и России.

Таблица 2 – Характеристики теплоизоляционных материалов на основе перлита

Материалы	Область применения	Насыпная прочность, кг/м <sup>3</sup>	Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·С)	Капиллярное водопоглощение за 24 часа, г/см <sup>2</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Паропроницаемость, мг/(м ч Па)
Гидрофобный вспученный перлит	Засыпная изоляция стен, полов и перекрытий	75-80	–	0,039	–	0,1	0,38
Штукатурки цементно-перлитовые	Дополнительная теплозащита наружных стен	–	400-600	0,09-0,12	0,4-0,2	0,8-2,5	0,19-0,16
Штукатурки цементно-перлитовые (цветные)	Дополнительная тепло- и гидрозащита наружных стен из газобетона и перлитобетона	–	600-800	0,12-0,16	0,1-0,07	2,5-50	0,14-0,11
Легкие кладочные растворы	Для кладки из пустотелых керамических камней и перлитобетонных блоков	–	800-1200	0,16-0,28	–	5-10	0,16-0,13

Результаты проведенных исследований отражены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав и свойства композиций на основе перлита и вермикулита

Дата опыта	Условные обозначения	Компоненты исследуемых композиций	Масса, г	Объем, см <sup>3</sup>	Условия	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность, МПа
03.11.12	–	Перлит, ж/с, известь, AlCl <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	12,8	15,04	Ест. сушка	0,85	–
03.11.12	–	Вермикулит, ж/с, известь, AlCl <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	16,6	16,9	Ест. сушка	0,98	–
08.11.12	–	Вермикулит, NaOH, МК*, H <sub>2</sub> O	16,8	24,4	Ест. сушка	0,69	–
08.11.12	–	Вермикулит, NaOH, МК, H <sub>2</sub> O	14,4	27	400 °С 60 мин	0,53	–
08.11.12	–	Перлит, NaOH, МК, H <sub>2</sub> O	19,5	33,8	Ест. сушка	0,57	0,77
08.11.12	–	Перлит, NaOH, МК, H <sub>2</sub> O	16,6	34	400 °С 60 мин	0,48	0,44
09.11.12	–	Перлит, AlCl <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, NaOH, МК, H <sub>2</sub> O	22,2	47,1	Ест. сушка	0,47	0,55
09.11.12	–	Перлит, AlCl <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, NaOH, МК, H <sub>2</sub> O	15,3	34,36	400 °С 60 мин	0,44	0,55
09.11.12	–	Вермикулит, AlCl <sub>3</sub> , FeCl <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, NaOH, МК, H <sub>2</sub> O	17,6	33,9	Ест. сушка	0,52	0,5-1,1
09.11.12	–	Вермикулит, КОН, МК, H <sub>2</sub> O	16,2	41,36	400 °С 60 мин	0,39	–
09.11.12	–	Перлит, КОН, МК, H <sub>2</sub> O	17	36	400 °С 60 мин	0,47	1,38

## Окончание таблицы 3

Дата опыта	Условные обозначения	Компоненты исследуемых композиций	Масса, г	Объем, см <sup>3</sup>	Условия	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность, МПа
22.11.12	–	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +перлит K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , МК, H <sub>2</sub> O	23,8	54	Ест. сушка	0,44	0,16-0,22
22.11.12	–	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +перлит) K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , МК, H <sub>2</sub> O	4,5	31,9	Ест. сушка	0,45	0,38
22.11.12	–	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +вермикулит) K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , МК, H <sub>2</sub> O	21	30,6	Ест. сушка	0,68	–
23.11.12	–	(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +перлит) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , МК, H <sub>2</sub> O	16	25,2	400 °С 60 мин	0,63	0,5
23.11.12	–	(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +вермикулит) Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , МК, H <sub>2</sub> O	21,9	30	Ест. сушка	0,72	–
26.11.12	«Б»	Перлит, МК, H <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15	46,8	Ест. сушка	0,32	0
26.11.12	«Б»	Перлит, МК, H <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	13,1	36	400 °С 60 мин	0,36	0,11-0,22
26.11.12	«Б»	Вермикулит, МК, H <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	17	25,2	Ест. сушка	0,67	1,38

\*МК – микрокремнезем.

Как видно из таблицы 3, частичная или полная замена гидроксида натрия на соду (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) при использовании жидкого натриевого стекла или гидроксида калия на поташ (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) при использовании калиевого жидкого стекла позволяет получать теплоизоляционные материалы, удовлетворяющие критериям ресурсо-, энергосбережения, экологической и пожарной безопасности, долговечности и обладающие при этом сравнительно высокими эксплуатационными характеристиками.

### 1.2.2 Теплый пол на основе перлита

Очень эффективным считается теплый пол на основе перлита. Для его укладки применяется гидрофобизированный перлит, фракции которого не превышают 6 мм. После укладки трубопроводов на подготовленную поверхность песок высыпается из мешков и выравнивается длинными рейками, при этом толщина слоя должна быть на 20% больше желаемой высоты покрытия.

При необходимости под песком прячутся и дренажные трубки с прослойкой из крафт-бумаги над ними (в том случае, если в качестве основы не используется перекрытие над подвалом). Поверх засыпки укладывают плиты, например, из газобетона, дальше осуществляется наливка пола. Для деревянных половых покрытий уплотнение плитами не применяется, просто перлитом заполняются все щели между лагами.

### 1.2.3 Перлитовые стяжки и перлитовые засыпки для полов

Перлитовая изоляция в виде основы под полы может использоваться для «плавающих» бетонных полов, асфальтированных полов и «плавающих» деревянных полов. Это особенно удобно, когда приходится выравнивать пол и значительно повысить звукоизоляцию между этажами, между полом и стенами, а также изолировать системы трубопроводов. Также перлитовая система является удобной при монтаже встроенного в пол отопления, поскольку перлитовая изоляция не расширяется, не дает усадки при сменах температур, не горит. Перлитовая изоляция под полами является неорганической, поэтому не гниет, не горит, не создает среды для грызунов. Благодаря натуральному рН, не вызывает коррозии трубопроводов и электрической проводки, которая может находиться в районе пола.

Характеристики перлитовой изоляции для полов: плотность 70 – 100 кг/м<sup>3</sup>; фракционный состав перлита – 10-20% фракции 1,18 мм, 90% фракции 0,15 мм; теплопроводность (зависит от плотности) – 0,039 -0,047 Вт/(м<sup>3</sup>·°С).

Особенностью перлита является его способность обтекать любые неровности, шероховатости или выступы, находящиеся на поверхности пола. Перлитовая стяжка обладает самовыравнивающими свойствами. Это позволяет легко и быстро определить уровень пола. Кроме того, поскольку перлитовая изоляция под по-

лы является водоотталкивающей, она не будет поглощать воду в случае аварийного протекания водопровода, что сможет уменьшить вред, нанесенный соседям, как это обычно происходит в подобных случаях. Поскольку перлит – материал неорганический, имеющий нейтральный pH, то находящиеся под полом трубопроводы или электрокоммуникации не будут подвергаться коррозии.

Сухая строительная смесь для полов на основе цемента, перлита, песка и добавок имеет высокую плотность и, соответственно, высшие показатели тепло- и звукозащиты. Она может применяться для создания теплозащитных и звукоизолирующих перекрытий между этажами без укладки под чистовой пол дополнительных прокладок, которые обычно используются для снижения ударного шума (пробковых, композитных, из вспененного полиэтилена, экструдированного полистирола и др.)

### 1.3 Технические особенности нанесения строительных материалов на основе перлита

#### 1.3.1 Специфика нанесения перлитовой штукатурки

Лучше всего наносить штукатурку на основе перлита на поверхности, заранее обработанные – должны быть удалены пятна грязи, ржавчина, пыль, остатки краски или предыдущего раствора. Чтобы повысить сцепление раствора с поверхностью ее предварительно обрабатывают специальной грунтовочной жидкостью

После подготовки стен и потолков к работе, необходимо развести сухую смесь с водой, согласно инструкции. В процессе смешения должен получиться однородный раствор, легкий и пластичный, без комков и пузырей воздуха. Легче всего добиться этого – это использовать растворосмеситель или электрическую дрель с насадкой-миксером.

При необходимости нанести «теплую» перлитовую штукатурку применяют кельму или пользуются стальным шпателем. Аппликация раствора производится путем набрасывания на поверхность. Чтобы выровнять изъяны получившейся штукатурки следует применить в работе правила, терки или линейки из металла.

Если наносится несколько слоев, достаточно выравнять последний финишный слой. Если работа предполагает нанесение штукатурки в один слой, поверхность нужно выравнять сразу после нанесения смеси. Зачастую раствор наносят не вручную, а механизированным способом. Такой способ позволяет отлично смешивать загруженные компоненты раствора.

### 1.3.2 Армирование с применением сетки или проволоки

Армирование легко произвести самостоятельно, используя следующие правила по порядку:

Используется металлическая сетка из нержавеющей стали, размер ячеек может быть различен: минимум 10x10 мм, максимум 40x40 мм. Отрезается полотно нужного размера и фиксируется с помощью гвоздей. Прибиваемую сетку нужно хорошо натянуть, исключая провисания. Гвозди должны быть не меньше 8 см, не больше 10 см. Прибивают гвозди, фиксируя сетку, в шахматном порядке отступая 10 см между гвоздиками. Гвоздь не нужно вбивать до конца. Незабитую часть гвоздя с шляпкой загните, тем самым прижав сетку.

Лучшего результата для обеспечения шероховатости можно добиться оплетением вбитых гвоздей проволокой. Этот способ оптимальнее, чем использование готовой металлической сетки, но менее быстр. Гвозди располагаются в стене в порядке шахмат на удалении 1 м. Шляпки гвоздей после нанесения штукатурного слоя будут утоплены вглубь на 2 см.

Проволоку из меди, нержавеющей стали, имеющую диаметр 1-2 мм, обматывают кругом гвоздя, сильно натягивая, производят плетение сетки.

### 1.3.3 Повышение сцепления раствора

Для того, чтобы улучшить адгезию на кладке из кирпича необходимо расширить швы между кирпичами, делая их глубже примерно на 1 см.

Получившиеся выемки на месте швов позволят сделать сцепление гораздо выше. Такой способ работает только в случае, если основание выложено из кирпича с пористой основой. Поверхность же из кирпича без зазоров, гладкой поверхности делают для улучшения сцепления с раствором шероховатой. Делается

это посредством нанесения насечек с использованием зубила, по которому ударяют молотком.

Гладкую стену бетонную прорабатывают перфоратором или плотницким топором. Вырубаются насечки, которые утопают вглубь примерно 5 мм и длиной 5-10 см.

Можно применить методику обработки мокрой кистью, смоченной чистой водой.

Пятна масляной краски, ровно, как и другие жировые загрязнения удаляют посредством вырубания.

#### 1.3.4 Удаление загрязнений с поверхности стен

Перед нанесением штукатурного слоя нужно очистить поверхность стен. Наличие пятен, пыли, грязи в разы понижает силу сцепления жидкого штукатурного раствора.

Для чистки оснований из кирпича, бетона, камня используют раствор соляной кислоты с концентрацией 3%, потом отмывают поверхность обычной водой.

С помощью жирной глины удаляются масляные пятна. Ее нужно намазать солидным слоем поверх жировых пятен, затем подсохшую стену или потолок прочищают. Засохшая глина впитывает жир.

Если загрязнение сильное и не очистилось сразу, то процедуру придется повторить. Минус этого метода в том, что иногда приходится наносить несколько раз глину, для впитывания пятна до конца, повторяя этот процесс несколько раз.

Также, удаленные пятна жира могут через некоторое время проступить наружу снова. Поэтому лучшим методом борьбы с жировыми пятнами является удаление пораженных участков способом вырубания. Получившиеся неровности нужно замазать раствором.

Пыль, грязь и присохший раствор счищают со стен и потолков железной щеткой. Необходимо сильно прижать стальную щетку к обрабатываемой поверхности и совершать движения в разных направлениях.

#### 1.3.5 Удаление неровных участков поверхности

Перед началом работ проверяется наличие неровностей и впадин, а также уровень вертикальности стены. Для выравнивания основания, устранения впадин необходимо использовать более толстый слой смеси на данном участке.

Возможно, придется наносить несколько слоев раствора, поэтому это увеличивает время проведения работ. Выравнивание поверхности увеличивает расход штукатурки на 1 м<sup>2</sup>, это нужно учитывать во время проведения работ.

В ремонтных нормативах оговариваются дозволённые отклонения получаемой поверхности, которые отличаются для разных типов штукатурной смеси:

Для обычной штукатурной смеси нормой считается смещение от вертикали не больше 1,5 см по отношению к высоте стены или не больше 3 мм к 1 м, толщина нанесенного раствора не больше 12 мм;

Усовершенствованная штукатурка может иметь отклонение не больше 10 мм на итоговую высоту стен или  $\leq 2$  мм на 1 м поверхности. Слой не должна быть толще 15 мм;

Штукатурка высшего качества имеет по правилам отклонение, которое не превышает 5 мм на высоту здания или 0,1 см на метр поверхности. При этом наносимый слой должен быть не толще 2 см.

Часто чтобы убрать крупные неровности стены используют сетку из проволоки, размер ячеек которой 10x10 мм. Для крепления проволочной сетки на кирпичной стене используют гвозди, вбитые на месте швов между кирпичами.

Если стена бетонная, то такую сетку закрепляют на месте выхода арматуры. Чтобы проволока не ржавела, ее обрабатывают так называемым цементным молоком.

Небольшие углубления и трещины замазывают раствором. Такие подготовительные работы нужно проводить минимум за три дня до начала использования штукатурки.

#### 1.4 Преимущества применения перлита в различных материалах

– отличные звукоизоляционные свойства (гранулы обладают высокой степенью звукопоглощения при низкой насыпной плотности – от 30 до 50 кг/м<sup>3</sup>)



- высокие теплоизоляционные свойства (уровень теплопроводности на порядок ниже этого показателя в других материалах);
- огнеупорные свойства (широкий спектр рабочей температуры – от -200 градусов до +875°, отсутствие горючих компонентов);
- влагопоглощающие свойства (отделка помещений влагоемким перлитовым материалом позволяет избежать чрезмерной сухости или сырости);
- «текучесть» (небольшой размер перлитовых гранул позволяет им равномерно заполнять пустоты);
- легкость (от 50 до 250 кг/м<sup>3</sup>);
- экономичность и доступная цена;
- неограниченный срок годности и использования (сохраняет свои ценные свойства, не сжимается и не оседает, не подвержен процессам гниения и разложения, не способствует размножению вредителей и бактерий).

#### 1.4.1 Достоинства «теплой» перлитовой штукатурки

Так как перлит является одним из видов песка, имеющего вулканическое происхождение, который окислился, он имеет отличные теплоизоляционные качества. Входя в состав штукатурных смесей, он придает им свои свойства.

Поэтому перлитовая штукатурка имеет ряд преимуществ:

- позволяет улучшить сохранение тепла в доме;
- повышает звукоизоляцию;
- используется почти на всех поверхностях: кирпичные стены, пеноблоки, деревянные поверхности, каменные основания;
- имеет хорошие огнеупорные свойства. это повышает пожарную безопасность, так как не поддерживает процесс сжигания;
- позволяет поддерживать в помещении правильный микроклимат и нужный уровень влажности. достигается это благодаря паропроницаемости материала;
- перлитовая штукатурка устойчива к образованию микроорганизмов, плесени и грибков;
- имеет экологически чистый и безопасный состав.

Отличительными характеристиками в эксплуатации перлитовой штукатурки можно отметить ее эластичность и податливость при нанесении, устойчивость к влаге и морозу. Обработанная поверхность отличается своей гладкостью, отсутствием неровностей и остается в первоначальном виде продолжительное время.

#### Выводы по разделу один

Проведенный литературный обзор показал, что в настоящее время применение перлита в строительстве только начинает развиваться, однако выявлено достаточное большое количество направлений, где использование данного материала улучшает характеристики строительных материалов различного назначения, так как перлит обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами: огнестойкостью, низким влагопоглощением и плотностью, высокой тепло- и шумоизоляцией.

Являясь природным материалом, представляющим из себя вулканическое стекло, он является экологически чистым материалом, а основным технологическим процессом при его обработке является процесс обжига, который в значительной степени предопределяет характеристики вспучиваемого материала.

Область применения достаточно широка, так, например, являясь хорошим тепло- и шумоизоляционным материалом, перлит минимизирует расходы на использование современных обогревающих энергоносителей.

Одним из направлений использования перлита в строительстве является производство штукатурок на его основе. Однако при их использовании стоит учитывать специфику нанесения их на поверхность.

Однако, не до конца исследовано применение разнофракционного перлита в цементных стяжках для зданий различного назначения.

#### Цели и задачи

Целью данной работы являлось исследовать влияние перлитового наполнителя на свойства бетона. Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ технических характеристик сырьевых материалов;

- исследовать влияние наличия различных фракций в перлитовом песке на его физические свойства;
- исследовать влияние добавления перлитового песка в состав бетона на его прочностные характеристики;
- исследовать зависимость изменения прочностных характеристик бетона при добавлении перлита различных фракций;
- исследовать зависимость изменения прочностных характеристик бетона при смешивании перлита разных фракций.

## 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

### 2.1 Исходные материалы

#### 2.1.1 Вяжущее

В работе использовали цементное вяжущее. Вяжущее обладает следующими основными свойствами:

- цвет – белый;
- нормальная густота цементного теста от 20-35%;
- сроки схватывания: начало – 2.35 часа, конец – 5.15 часа;
- марка цемента – ЦЕМ I 42,5Н.

#### 2.1.2 Вода

Вода для затворения растворных смесей соответствует ГОСТ 23732. «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

#### 2.1.3 Песок

Заполнитель для универсальной строительной смеси – песок кварцевый в соответствии с ГОСТ 32021-2012 «Заполнители и наполнители из плотных горных пород для производства сухих строительных смесей. Технические условия».

В данной работе использовались:

Песок фракций 1,5-0,315 мм

Таблица 4 – Зерновой состав песка

	Масса	Частные остатки, %	Полные остатки, %	Модуль крупности
Навеска	1000			3,8
Сито 2,5	121	12,1	12,1	
Сито 1,25	112	11,2	23,3	
Сито 0,63	418	41,8	65,1	
Сито 0,315	218	21,8	86,9	
Сито 0,16	83	8,3	95,2	
Меньше 0,16	14	1,4	96,6	

## 2.4.1 Перлит

Таблица 5 – Химический состав перлита

Месторождение	Химический состав, %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п
Фогош (Украина)	72,20	12,30	2,23	0,10	0,88	0,10	0,03	1,84	5,06	5,2-5,5
Греции (о.Милос)	75,24	12,47	1,49	0,14	1,59	0,40	0,03	3,20	2,20	2,50
Билесик (Турция)	73,2	12,45	0,92	0,09	0,55	0,26	–	3,35	3,90	3,26
Арагац (Армения)	74,15	11,90	0,71	0,10	1,72	0,13	0,27	4,02	4,40	3,52
Параван (Грузия)	73,28	12,93	0,92	0,13	0,68	0,23	0,00	4,18	3,00	3,66

Таблица 6 – Физико-технические характеристики перлитового сырья

Наименование месторождения	Истинная плотность (без пор), г/см <sup>3</sup>	Средняя плотность (включая поры), г/см <sup>3</sup>	Пористость гранул, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Фогош (Украина)	2,38	1,56	34,6	20,0
	2,37	1,75	26,2	
Греция (о.Милос)	2,37	1,70	28,3	17,0
Билесик (Турция)	2,37	1,67	29,5	18,0
Арагац (Армения)	2,35	1,82	22,6	16,0
Параван (Грузия)	2,36	1,59	32,6	8,4

## 2.2 Методы анализа исследуемого материала и порядок получения показаний по ним

Физико-химические методы исследования используются для полного изучения строительных материалов. Использование таких методов позволяет углубленно изучить состав, структуру и свойства строительных материалов и изделий.

Чтобы изучить структуру природного гипсового камня, необходимо выполнить термический.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) и термогравиметрия (ТГ).

Эти методы относятся к группе методов тепловых исследований, которые также включают микрокалориметрию. ДТА состоит в измерении тепловых эффектов фазовых превращений исследуемого вещества при нагревании. Устройство ДТА показано на рисунке 4. Этот метод предложен российским ученым Н.С. Нурнаковым. Этот метод записывает температуру для идентификации вещества по температуре разложения, диссоциации и других фазовых превращений. ТГ предназначен для получения дополнительной количественной информации путем измерения потери массы вещества при его нагревании вследствие диссоциации, разложения, потери влаги, гидратации и т.д.

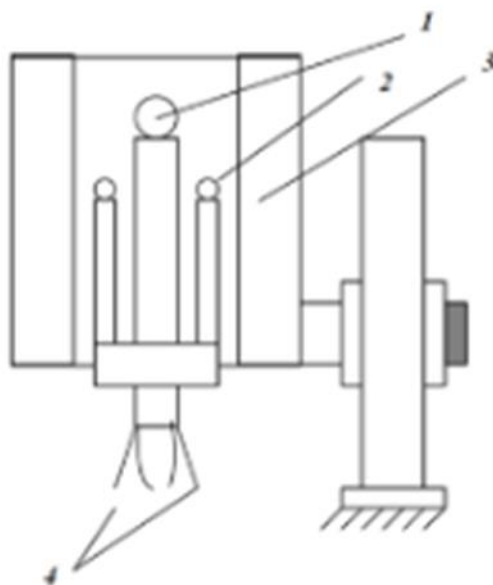


Рисунок 4 – Устройство прибора ДТА

1 – устройство для динамического взвешивания образца; 2 – образец; 3 – корпус нагревательной трубчатой печи; 4 – выводы термопар.

Как правило, установка ДТА содержит нагревательную печь, термопарную систему температуры образца и стандартное электронное измерительное устройство, автоматическое устройство регистрации кривой нагрева, вспомогательное оборудование (блоки, тигли, термопары и т. д.).

Печь. Основным требованием к этому устройству является непрерывный и равномерный нагрев в заданном диапазоне температур. Используются нагревательные элементы из нихрома, молибдена, платины, родия, вольфрама и их сплавов.

Термопары. Дифференциальные термопары, состоящие из двух простых термопар, используются в этих установках для повышения точности регистрации тепловых эффектов. Дифференциальные термопары измеряют разницу температур между образцом и эталоном (то есть инертным веществом, которое не испытывает фазовых превращений в этом температурном интервале), представленным на рисунках 5 а и 5 б.

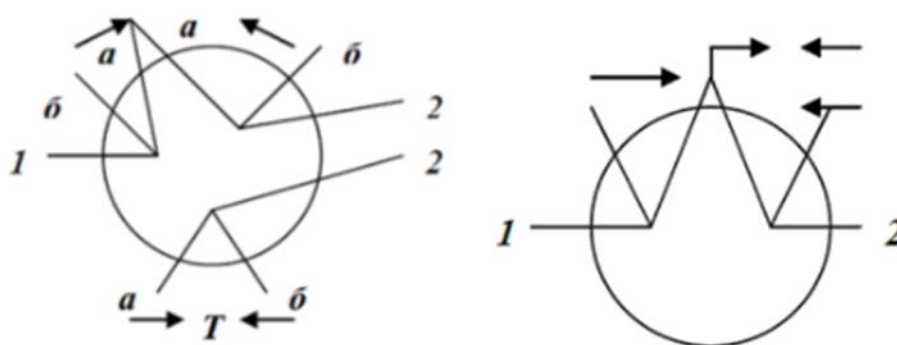


Рисунок 5 – Дифференциальный термопар

а – диф. термопар для измерения абсолютной температуры;

б – прибор с комбинированным термопаром.

Материал термопар: медь – константан (до 400°C), нихром – константан (до 800°C), платина (до 1600°C).

Электроизмерительная аппаратура. В пирометре Курнакова было предложено использовать зеркальные гальванометры. В зеркальном гальванометре используется оптический способ. В современных приборах применяются автоматические электронные потенциометры на базе уравновешенных мостов.

Устройство автоматической записи кривых нагрева. У Курнакова есть фотографическая запись, современные приборы используют электрическую запись и электронные измерения.

Используется вспомогательное оборудование – фарфоровые, платиновые тигли, в которых образец помещается в виде стандарта, в свою очередь, тигели

помещаются в платиновые блоки, из нержавеющей стали (для равномерного нагрева).

Получение данных ДТА и их интерпретация. Используя простую термопару, мы получаем так называемую кривую нагрева  $t_0 - t$ . Устройства ДТА используют дифференциальную кривую нагрева, т.е. Кривая ДТА. Пики (отклонения) на кривой ДТА могут выявить природу эффектов, а также температуры начала, максимум и конца эффекта. Градуировка простой термопары для эталона производится с помощью реперов. В зависимости от кривой ДТА для испытуемого вещества, используя справочники, указывающие типичные тепловые эффекты, определяется состав этого вещества. Количественный состав может быть получен путем измерения площади пика. Более точная информация получается с использованием метода ТГ.

Термогравиметрия осуществляется с помощью динамического взвешивания на коромысловых, крутильных, торсионных и других весах. Примерный вид ТРМ – кривой для цементного камня показан на рисунке 6.

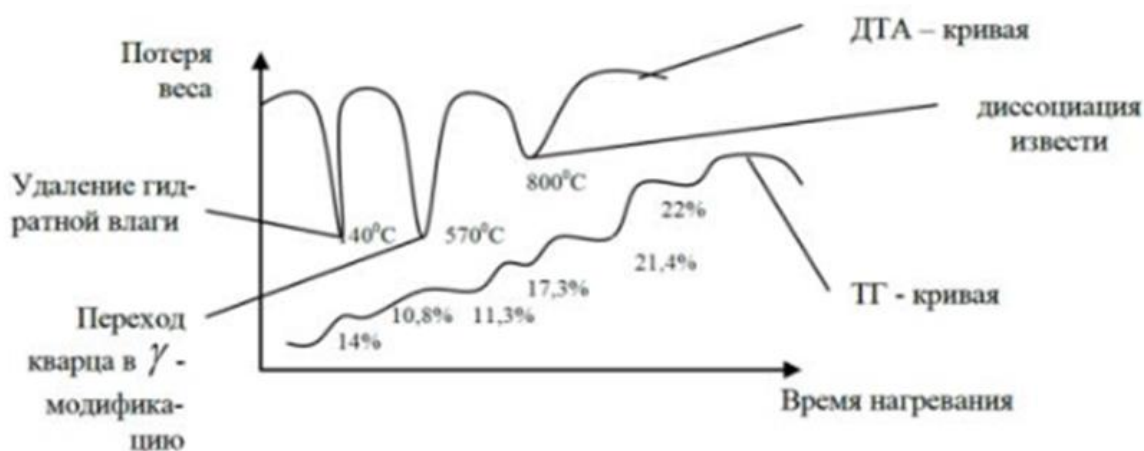


Рисунок 6 – Термограмма образца

Порядок получения показаний: для проведения испытаний методом последовательного усреднения квартованием отбирают пробу исследуемого вещества в количестве 2...3 граммов, затем пробу сушат до 45...50°C и истирают в фарфоровой ступке до полного прохождения через сито 0,08.

Далее исследуемое вещество в количестве 200...400 мг перемещают в тигель, который через керамическую рубашку платинородиевой термопары опира-



ется на плечо весов. На вторую термопару помещают тигель с инертным веществом – прокаленной окисью алюминия. После подготовки прибора тигели накрывают печью. Нагрев печи ведётся 10°С/мин до температуры 1000°С. При этом вещество в тигле претерпевает изменения, которые фиксируются зайчиками гальванометров ДТА, ДТГ, ТГ.

Изменение массы исследуемого материала определяется по термогравиметрической кривой (ТГ). Производная потери массы вещества (ДТГ) определяется изменением скорости потери массы и позволяет с высокой точностью определить температуру разложения отдельных фаз, составляющих исследуемый материал.

### 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Методы испытания свойств цемента

Пробы цемента до испытания хранят в сухом помещении при относительной влажности воздуха не более 50%.

Перед испытанием каждую пробу цемента просеивают через сито с сеткой N 09 по ГОСТ 6613. Остаток на сите взвешивают и отбрасывают. Массу остатка в процентах, а также его характеристику (наличие комков, кусков дерева, металла и пр.) заносят в рабочий журнал. После просеивания пробу цемента перемешивают.

При изготовлении стандартного цементного раствора применяют стандартный полифракционный песок (далее – песок) по ГОСТ 6139. Могут применяться другие пески, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 6139 по соответствию эталонному песку, при этом содержание ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка в стандартном песке должно быть не ниже 96%.

Для приготовления цементного теста, изготовления и хранения образцов применяют водопроводную воду. Сосуд для отмеривания или взвешивания воды тарируют в смоченном состоянии.

Перед испытанием цемент, песок и воду выдерживают до принятия ими температуры помещения.

Испытания следует проводить в помещениях с температурой воздуха  $(20\pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажностью не менее 50% при изготовлении образцов для определения прочности, не менее 65% – при определении сроков схватывания и равномерности изменения объема и не более 65% – при определении тонкости помола.

Температура и влажность воздуха помещений должны ежедневно отмечаться в рабочем журнале.

Температура в камере (шкафу) влажного хранения должна быть  $(20\pm 1)^\circ\text{C}$ , относительная влажность – не менее 90%. Температуру и влажность следует регистрировать непрерывно или периодически не реже, чем через каждые 4 ч.

Цемент и песок взвешивают, воду взвешивают (отмеривают) с погрешностью, не превышающей указанную в таблице 7.

Таблица 7 – Погрешности взвешивания

Наименование материала	Погрешность взвешивания ( $\pm$ )
Цемент для определения:	
– тонкости помола;	0,01
– сроков схватывания и равномерности изменения объема;	1
– прочности.	2
Песок	5
Вода	1 (1 мл)

Средства контроля, применяемые при испытаниях, должны быть изготовлены из коррозионностойких и не реагирующих с цементом материалов. Применение алюминиевых и оцинкованных форм, чаш, лопаток и т.п. не допускается.

### 3.1.1 Определение нормальной густоты

Цементным тестом называется однородная пластичная подвижная смесь цемента с водой.

Пластичность цементного теста характеризуется его нормальной густотой.

Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию (водоцементное отношение В/Ц, выраженное в процентах), при которой пестик прибора Вика, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на 5-7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо конической формы.

За нормальную густоту цементного теста принимают количество воды затворения, выраженное в процентах от массы цемента, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста.

Определение нормальной густоты цементного теста проводят по п.1 ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема» на приборе Вика (рисунок 7) с использованием металлического пестика диаметром 10 мм и длиной 50 мм.

Масса подвижного стержня прибора вместе с пестиком должна быть 300±2 г.

Перед началом испытания проверяют свободное падение подвижного стержня прибора, чистоту пестика, положение стрелки, которая должна стоять на 0 при соприкосновении пестика со стеклянной пластинкой, смазывают кольцо и пластинку тонким слоем машинного масла.

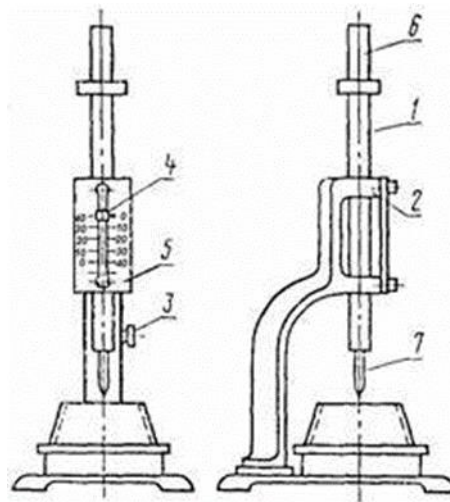


Рисунок 7 – Прибор Вика по ГОСТ 310.6-76

1 – цилиндрический металлический стержень; 2 – обойма станины;  
3 – стопорное устройство; 4 – указатель; 5 – шкала; 6 – пестик; 7 – игла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400г испытываемого цемента, высыпают его в сферическую металлическую чашу (рисунок 8а), предварительно протертую влажной тканью. Затем в цементе делают углубление, куда в один прием вливают предварительно отмеренную воду в количестве, необходимом для получения цементного теста нормальной густоты. Количество воды для первого пробного затворения цемента может быть ориентировочно принято 110-112 см<sup>3</sup>, т.е. 25-28% от массы цемента.

Углубление, в которое была налита вода, с помощью стальной лопатки (рисунок 8б) заполняют цементом и через 30 с после этого осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто лопаткой во взаимно перпендикулярных направлениях, периодически поворачивая чашку на 90°. Продолжительность перемешивания и непрерывного растирания с момента затворения цемента водой – 5 мин.

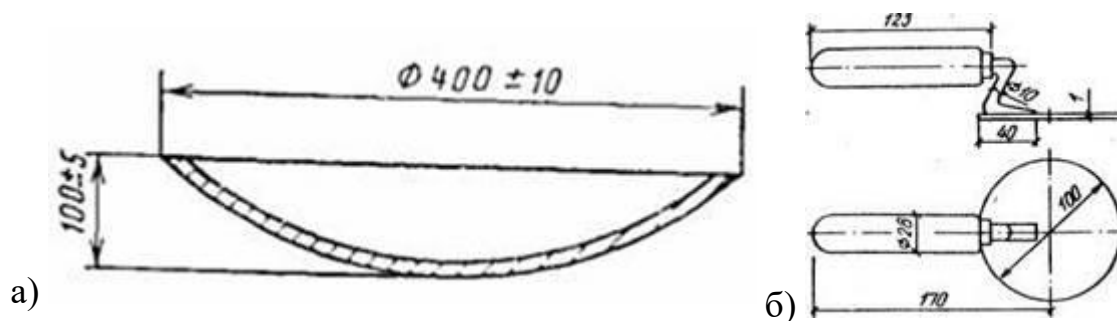


Рисунок 8– Чаша (а) и лопатка для перемешивания (б)

После окончания перемешивания цементное тесто укладывают в один прием в кольцо, которое пять-шесть раз встряхивают, постукивают пластинкой с прижатым к ней кольцом о поверхность стола. Избыток цементного теста срезают ножом, предварительно протертым влажной тканью. Кольцо на стеклянной пластинке ставят под стержень прибора Вика, пестик приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют его в таком положении зажимным винтом. Затем быстро отвинчивают зажимной винт, и стержень вместе с пестиком свободно погружается в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня по шкале прибора фиксируют глубину погружения пестика.

Густота цементного теста считается нормальной, если пестик не доходит до стеклянной пластинки на 5-7 мм. Если он, погружаясь в цементное тесто, остановится выше, то опыт повторяют с большим количеством воды, а если ниже – с меньшим, добиваясь погружения пестика на глубину, соответствующую нормальной густоте теста. Количество добавляемой воды для получения теста нормальной густоты, % от массы цемента, определяют с точностью до 0,25%

Таблица 8 – Полученные данные

Цемент	Вода
400	108

### 3.1.2 Определение сроков схватывания

Средства контроля.

Прибор Вика в комплекте с пестиком, иглами (длинной и короткой), кольцом и пластинкой (рисунок 9). Прибор Вика состоит из цилиндрического металлического стержня, который свободно перемещается в обойме станины в вертикальном направлении и может фиксироваться на требуемой высоте с помощью

стопорного устройства. На стержне имеется указатель для отсчета перемещения его относительно шкалы с ценой деления 1 мм. Пестик должен быть изготовлен из нержавеющей стали и иметь полированную поверхность. Размеры рабочей части пестика должны соответствовать указанным на рисунке 9. Иглы должны быть изготовлены из стальной нержавеющей проволоки с полированной поверхностью и не должны иметь искривлений. Короткая игла для определения конца схватывания должна быть снабжена кольцеобразной насадкой с наклонным каналом для выхода воздуха. Размеры рабочей части игл должны соответствовать указанным на рисунках 10 и 11. Общая масса перемещающейся части прибора Вика должна быть  $(300 \pm 1)$  г и сохраняется взаимной перестановкой пестика и игл либо с помощью дополнительного пригруза, закрепляемого в верхнем конце стержня прибора. Для определения сроков схватывания могут применяться автоматизированные приборы при условии получения тех же результатов, как при использовании прибора Вика. При этом определения выполняют в соответствии с инструкцией к прибору.

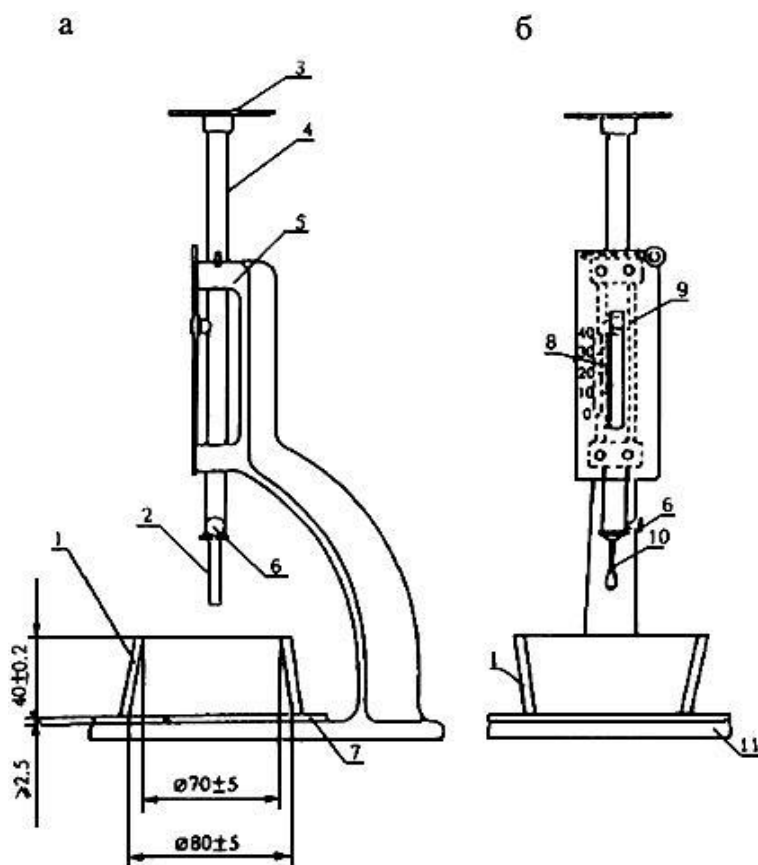


Рисунок 9 – Прибор Вика

а – положение кольца при определении нормальной густоты и начала схватывания; б – положение кольца при определении конца схватывания  
1 – кольцо; 2 – пестик; 3 – пригруз; 4 – цилиндрический металлический стержень;  
5 – обойма станины; 6 – стопорное устройство; 7 – пластинка; 8 – шкала; 9 – указатель; 10 – игла; 11 – основание станины.

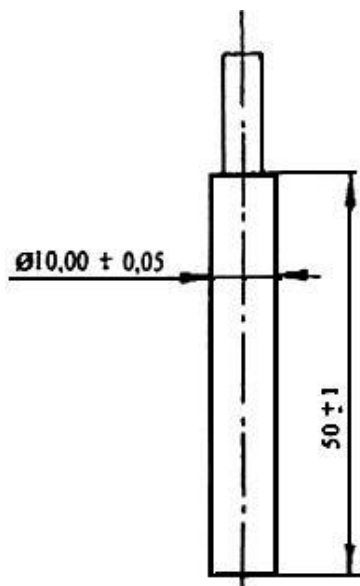


Рисунок 10 – Рабочая часть пестика

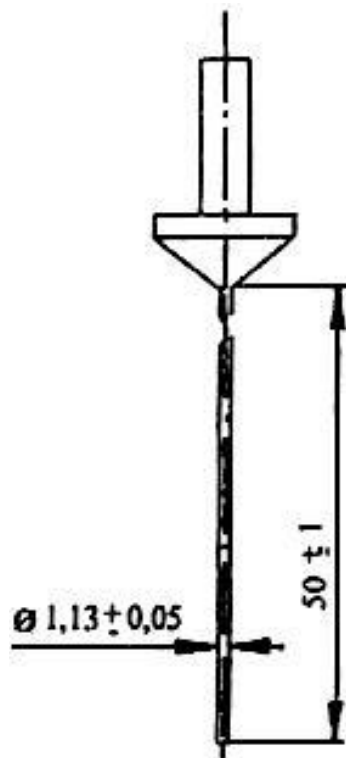


Рисунок 11 – Рабочая часть длинной иглы

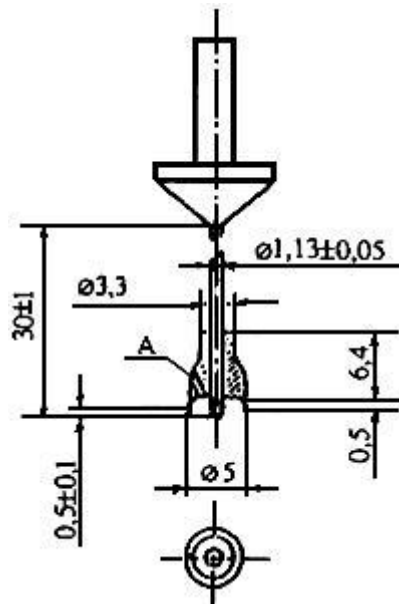


Рисунок 12 – Рабочая часть короткой иглы с кольцеобразной насадкой

Кольцо и пластинка должны быть изготовлены из нержавеющей стали, пластмассы или другого не впитывающего воду материала. Форма и размеры кольца должны соответствовать приведенным на рисунке 12. Размер пластинки, на которую устанавливают кольцо, должен превышать диаметр кольца, толщина пластинки должна быть не менее 2,5 мм. Допускается применять цилиндрическое кольцо высотой  $(40\pm 0,2)$  мм при условии получения тех же результатов, как и при определении с кольцом в виде усеченного конуса.

Смеситель для приготовления цементного теста, чаша и лопасть которого изготовлены из нержавеющей стали (рисунок 13). Смеситель должен иметь приспособление, позволяющее крепить чашу вместимостью около 5 л неподвижно к станине и изменять положение чаши по высоте относительно лопасти для регулирования зазора между ними, который в момент максимального приближения лопасти к стенке чаши должен быть  $(3,0\pm 1,0)$  мм. Чаша и лопасть используются в паре и должны быть индивидуально подогнаны друг к другу. При работе смесителя вращение лопасти вокруг собственной оси и планетарное перемещение ее по периметру чаши должны осуществляться в противоположных направлениях со скоростью, указанной в таблице 9.



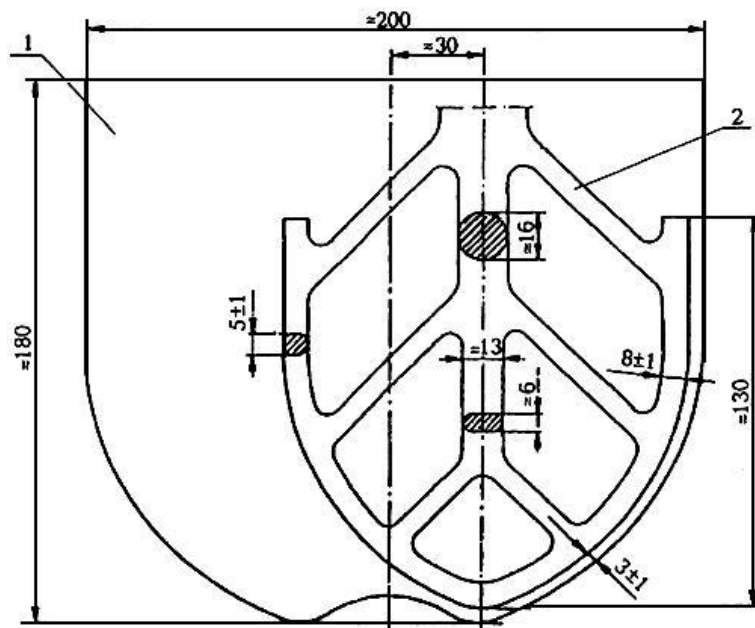


Рисунок 13 – Смеситель для приготовления цементного теста

Таблица 9 – Скорость вращения лопасти в оборотах в минуту

Ступень скорости	Скорость вращения лопасти	
	Вокруг собственной оси	При планетарном перемещении относительно оси чаши
Малая	140±5	62±5
большая	285±10	125±10

Подготовка и проведение испытания.

Перед началом испытаний в нижний конец стержня прибора Вика вставляют пестик, проверяют свободное перемещение стержня и нулевое показание прибора, соприкосновение пестика с пластинкой, на которой установлено кольцо. При отклонении от нуля указатель шкалы прибора устанавливают в нулевое положение. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения цементного теста нормальной густоты, выливают в чашу смесителя, предварительно протертую влажной тканью, затем осторожно в течение 5-10 с высыпают 500 г цемента и включают смеситель на малую скорость. Время окончания высыпания цемента в воду считают началом затворения. Через 90 с смеситель останавливают на 15 с, в течение которых скребком снимают тесто, налипшее на стенках чаши, сдвигая его в середину чаши. Затем вновь включают смеситель на малую скорость

и продолжают перемешивание еще в течение 90 с. Суммарное время перемешивания цементного теста должно составлять 3 мин, не считая времени остановки.

Приготовленное цементное тесто быстро за один прием переносят в кольцо, установленное на пластинке, заполняя его с избытком, но без уплотнения или вибрации. Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца до получения ровной поверхности. Кольцо с пластинкой устанавливают на основание станины прибора Вика, опускают пестик до соприкосновения с поверхностью цементного теста в центре кольца и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством. Через 1-2 с освобождают стержень, предоставляя пестику свободно погружаться в цементное тесто. Время от начала затворения до начала погружения пестика в цементное тесто должно составлять 4 мин. Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения пестика в цементное тесто. В течение всего времени испытания кольцо с цементным тестом не должно подвергаться толчкам или сотрясениям.

Нормальной густотой цементного теста считают такую консистенцию, при которой пестик прибора, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на  $(6\pm 1)$  мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

За нормальную густоту цементного теста принимают количество воды затворения в процентах массы цемента, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста.

Таблица 10 – Полученные данные

Цемент	Вода
400	108

Определение начала схватывания.

В нижний конец стержня прибора Вика вставляют длинную иглу и проверяют готовность прибора к проведению испытания, чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Готовят цементное тесто нормальной густоты. Цементное тесто переносят в кольцо прибора.

Иглу опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством. Через 1-2 с освобождают стержень, предоставляя игле свободно погружаться в цементное тесто. В начале испытания, пока цементное тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается ее слегка задерживать при погружении в тесто для исключения повреждения иглы. Как только цементное тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться. Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения иглы в цементное тесто. Затем иглу погружают в цементное тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения таким образом, чтобы каждое последующее погружение иглы находилось на расстоянии не менее 10 мм от мест предыдущих погружений и от края кольца. После каждого погружения иглу протирают.

В промежутках между погружениями иглы кольцо с цементным тестом на пластинке помещают в камеру (шкаф) влажного хранения. Допускается кольцо с цементным тестом накрывать влажной тканью и оставлять в помещении с относительной влажностью не менее 65%, при этом ткань не должна соприкасаться с цементным тестом.

Началом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на  $(4\pm 1)$  мм.

#### Определение конца схватывания

Длинную иглу в приборе Вика заменяют на короткую иглу с кольцеобразной насадкой. Проверяют чистоту поверхности и отсутствие искривлений иглы.

Кольцо с цементным тестом, использованное для определения начала схватывания, переворачивают таким образом, чтобы определение конца схватывания проводить на поверхности, контактировавшей с пластинкой. Иглу осторожно опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста, погружение иглы выполняют с интервалом 30 мин. При приближении конца схватывания интервалы времени между погружениями могут быть сокращены.

Концом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 0,5 мм, что соответствует положению иглы, при котором кольцеобразная насадка впервые не оставляет отпечатка на поверхности цементного теста

Таблица 11 – Полученные данные

Начало схватывания	2.35 часа
Конец схватывания	5.15 часа

### 3.1.3 Определение предела прочности на изгиб и сжатие

Сущность метода заключается в определении минимальных нагрузок, разрушающих образец.

Для проведения испытания применяют:

- чашку, изготовленную из коррозионностойкого материала;
- линейку длиной 250 мм;
- ручную мешалку;
- мерный цилиндр вместимостью 1 л по ГОСТ 1770-74;
- весы по ГОСТ 24104-80 с погрешностью взвешивания не более 1 г;
- форму из коррозионностойкого материала для изготовления образцов-балочек размерами 40x40x160 мм (рисунок 14).

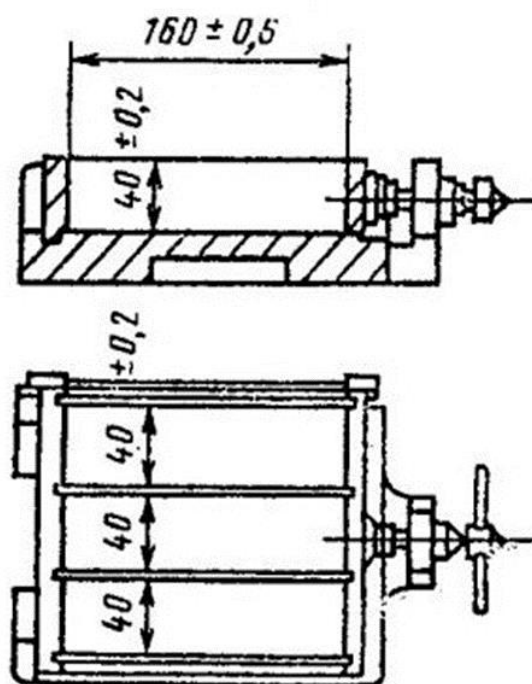


Рисунок 14 – Форма

- пресс для определения предела прочности образцов при сжатии с предельной нагрузкой до 10-20 тс;
- прибор для определения прочности на сжатие, состоящий из двух металлических нажимных пластин (рисунок 15) твердостью по Роквеллу не менее 61; искривление пластин не должно превышать 0,05 мм;

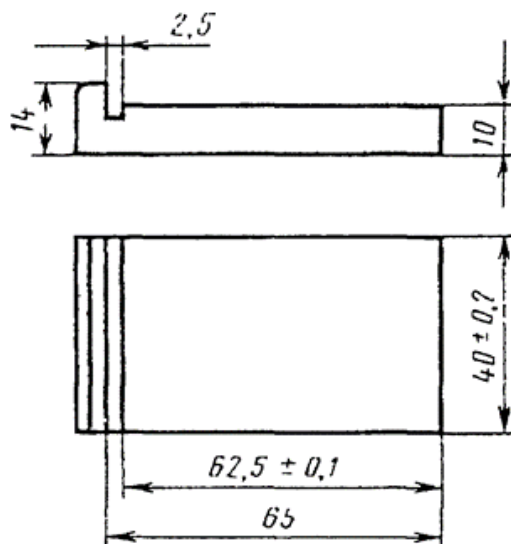


Рисунок 15 – Пластина

- прибор для испытания на изгиб.

Продольные и поперечные стенки форм должны быть отшлифованы сверху и снизу и лежать плотно на основании. Угол между сторонами и дном формы должен составлять  $(90 \pm 0,5)^\circ$ . Размер форм должен проверяться не реже одного раза в полгода. Если размеры форм отклоняются от номинальных размеров более чем на 0,5 мм в длину и на 0,2 мм в ширину и высоту, то формы необходимо заменить.

Определение прочности образцов из стандартной консистенции гипсового теста, проверяют через 2 часа после контакта гипсового вяжущего с водой.

Для изготовления образцов отбирается образец гипсового вяжущего весом от 1,0 до 1,6 кг. Гипсовое вяжущее в течение 5-20 с высыпают в чашу с водой, взятой в количестве, необходимом для изготовления стандартной консистенции теста. После того, как вяжущее засыпают, смесь интенсивно перемешивают ручным мешалкой в течение 60 с, чтобы получить однородное тесто, которое выливают в форму. Ранее внутреннюю поверхность металлических форм слегка сма-

зывали минеральным маслом средней вязкости. Секции формы заполняются вместе, для этого гипсовый тесто равномерно продвигают над формой. Чтобы удалить попавшего воздух после заливки, форму встряхивают 5 раз, поднимая ее за торцевую сторону на высоту от 8 до 10 мм и опуская.

После начала схватывания излишки гипсового теста удаляются линейкой, перемещая ее вдоль верхних краев формы перпендикулярно поверхности образцов. Через  $(15 \pm 5)$  минут после окончания схватывания образцы вынимаются из формы, маркируются и хранятся в помещении для испытаний.

Через  $(15 \pm 5)$  мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, маркируют и хранят в помещении для испытаний.

Для проведения испытаний образец устанавливают на опоры прибора для испытания на изгиб по ГОСТ 310.4-81 таким образом, чтобы те грани его, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении. Схема расположения образца на опорных валиках приведена на рисунке 16.

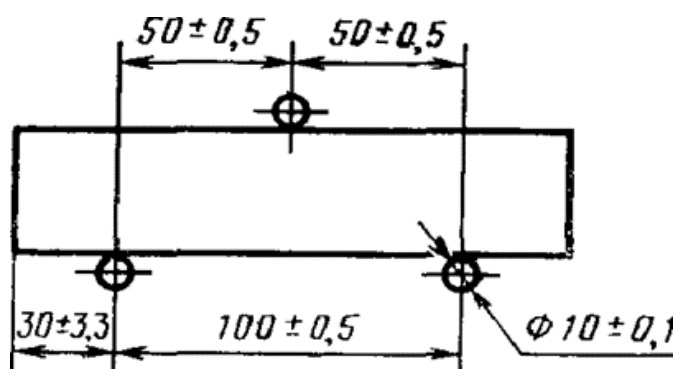


Рисунок 16 – Схема расположения образца для испытания на изгиб

Расчет предела прочности производят по формуле:

$$R_{\text{изг}} = 0,0234 \cdot F, \quad (1)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка в МПа или кгс/см<sup>2</sup>.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое результатов трех испытаний.

Поскольку, прибор для проведения испытаний на изгиб показывает не разрушающую нагрузку, а уже предел прочности, то производить расчет по вышеуказанной формуле не нужно.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергают испытанию на сжатие. Образцы помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца (рисунок 17). Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе. Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно составлять от 5 до 30 с, средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть  $(10 \pm 5)$  кгс/см<sup>2</sup> в секунду.

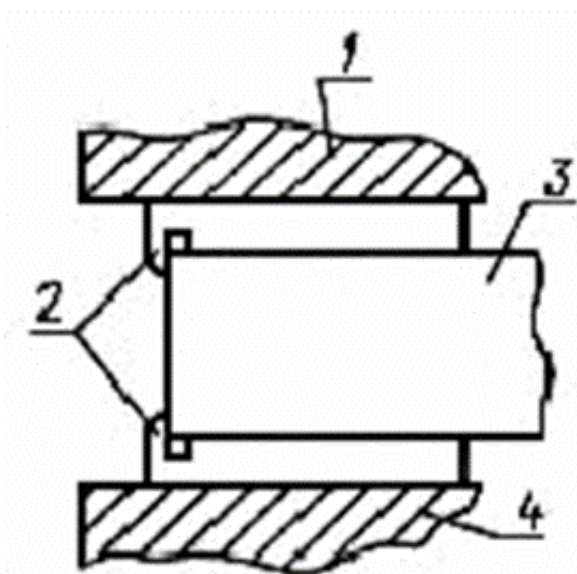


Рисунок 17 – Схема испытаний на сжатие

1 – верхняя плита пресса; 2 – пластинки; 3 – половина образца; 4 – нижняя плита пресса.

Предел прочности на сжатие одного образца определяют, как частное от деления величины разрушающей нагрузки на рабочую площадь пластины, равную 25 см. Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов шести испытаний без наибольшего и наименьшего результатов.

### 3.2 Влияние перлитового наполнителя на прочностные характеристики бетона

Для сравнения влияния перлитового наполнителя на характеристики бетона использовали три разные фракции перлита, а также их комбинации. Результаты испытаний приведены в таблицах

Таблица 12 – Состав 1. С использованием перлита мелкой фракции

Компонент	Количество
Цемент	400
Вода	200
Песок	800
Перлит	600

Таблица 13 – Состав 2. С использованием перлита средней фракции

Компонент	Количество
Цемент	400
Вода	200
Песок	800
Перлит	600

Таблица 14 – Состав 3. С использованием перлита крупной фракции

Компонент	Количество
Цемент	400
Вода	200
Песок	800
Перлит	600

Таблица 15 – Состав 4. С использованием перлита крупной и средней фракций

Компонент	Количество
Цемент	100
Вода	200



Окончание таблицы 15

Компонент	Количество
Песок	50
Перлит крупной фракции	100
Перлит средней фракции	100

Таблица 16 – Состав 5. С использованием перлита крупной и мелкой фракций

Компонент	Количество
Цемент	100
Вода	200
Песок	50
Перлит крупной фракции	100
Перлит мелкой фракции	100

Таблица 17 – Состав 6. С использованием перлита средней и мелкой фракций

Компонент	Количество
Цемент	100
Вода	200
Песок	50
Перлит мелкой фракции	100
Перлит средней фракции	100

Обработка и оценка результатов испытаний

Таблица 18 – Состав 1. С использованием перлита мелкой фракции

Испытание	Временной промежуток					
	7 суток		14 суток		28 суток	
На изгиб	1,11		1,1		1,18	
	1,07		1,11		1,2	
На сжатие	430	410	450	465	500	500
	400	420	440	450	480	500

Таблица 19 – Состав 2. С использованием перлита средней фракции

Испытание	Временной промежуток					
	7 суток		14 суток		28 суток	
На изгиб	1,02		1,25		1,23	
	0,98		1,23		1,27	
На сжатие	460	450	520	530	540	540
	450	440	510	515	545	500

Таблица 20 – Состав 3. С использованием перлита крупной фракции

Испытание	Временной промежуток					
	7 суток		14 суток		28 суток	
На изгиб	1,21		1,32		1,38	
	1,22		1,34		1,38	
На сжатие	520	500	580	570	670	660
	550	550	600	600	650	650

Таблица 21 – Состав 4. С использованием перлита крупной и средней фракций

Испытание	Временной промежуток					
	7 суток		14 суток		28 суток	
На изгиб	0,98		1,18		1,1	
	1,01		1,11		1,13	
На сжатие	460	475	500	480	520	520
	475	465	510	500	525	530

Таблица 22 – Состав 5. С использованием перлита крупной и мелкой фракций

Испытание	Временной промежуток					
	7 суток		14 суток		28 суток	
На изгиб	1,18		1,21		1,36	
	1,02		1,12		1,38	
На сжатие	400	400	445	440	450	440
	420	400	445	440	470	440

Таблица 23 – Состав 6. С использованием перлита средней и мелкой фракций

Испытание	Временной промежуток					
	7 суток		14 суток		28 суток	
На изгиб	1		1,3		1	
	1,12		1,19		0,97	
На сжатие	440	445	445	445	450	455
	440	435	450	450	450	450

В результате проведенных испытаний получаем:

1. Из составов, где перлит однофракционен самый хороший результат у состава 3(с использованием перлита крупной фракции).

2. Из составов, где смешивались разные фракции, самый хороший результат у состава 4(с использованием перлита крупной и средней фракций).

Вывод исследования на данном этапе: прочность бетона на сжатие и на изгиб прямо пропорциональна используемой величине фракции перлита.

На основе предварительно полученных результатов был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент.

Таблица 24 – Матрица 1. Состав с добавлением перлита мелкой и средней фракции

	МП		СП		7 сут		14 сут		28 сут	
	код	%	код	%	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа
1	-	0	-	0	1,5	6	3,5	14	5,0	20
2	0	25	0	25	1,12	1,14	1,27	2,66	1,81	3,8
3	+	50	+	50	1,06	1,26	1,3	2,94	3,53	4,2
4	-	0	0	25	1,1	1,14	1,25	2,66	1,79	3,8
5	0	25	-	0	1,2	1,14	1,26	2,66	1,8	3,8
6	-	0	+	50	1,0	0,9	1,24	2,1	1,47	3,0
7	+	50	-	0	1,07	0,75	1,11	1,75	1,19	2,5
8	+	50	0	25	1,15	1,14	1,26	2,66	1,8	3,8
9	0	25	+	50	1,1	0,9	1,24	2,1	1,47	3,0

Таблица 25 – Матрица 2. Состав с добавлением перлита крупной и средней фракции

	КП		СП		7 сут		14 сут		28 сут	
	код	%	код	%	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа
1	-	0	-	0	1,5	6	3,5	14	5,0	20
2	0	25	0	25	1,12	1,02	2,35	2,38	3,36	3,4

Окончание таблицы 25

	КП		СП		7 сут		14 сут		28 сут	
	код	%	код	%	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа
3	+	50	+	50	1,0	0,96	2,33	2,24	3,33	3,2
4	-	0	0	25	1,1	1,32	2,57	3,08	3,67	4,4
5	0	25	-	0	1,22	1,5	2,85	3,5	4,07	5,0
6	-	0	+	50	1,0	0,96	2,33	2,24	3,33	3,2
7	+	50	-	0	1,30	1,65	3,03	3,85	4,33	5,5
8	+	50	0	25	1,1	1,32	2,57	3,08	3,67	4,4
9	0	25	+	50	1,15	1,47	2,68	3,43	3,83	4,9

Таблица 26 – Матрица 3. Состав с добавлением перлита крупной и мелкой фракции

	КП		МП		7 сут		14 сут		28 сут	
	код	%	код	%	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа	Ризг, Мпа	Рсж, МПа
1	-	0	-	0	1,5	6	3,5	14	5,0	20
2	0	25	0	25	1,15	1,47	2,68	3,43	3,83	4,9
3	+	50	+	50	1,12	1,41	2,61	3,29	3,73	4,7
4	-	0	0	25	1,32	1,71	3,08	3,99	4,40	5,7
5	0	25	-	0	1,35	1,77	3,15	4,13	4,50	5,9
6	-	0	+	50	1,11	1,35	2,59	3,15	3,70	4,5
7	+	50	-	0	1,40	1,92	3,27	4,48	4,67	6,4
8	+	50	0	25	1,25	1,53	2,92	3,57	4,17	5,1
9	0	25	+	50	1,3	1,65	3,03	3,85	4,33	5,5

Примечания:

Соотношение цемент : заполнитель = 1:2

Коэффициент теплопроводности исследуемых составов  $\lambda = 0,066 - 0,11$  Вт/м·К.

Коэффициент теплопроводности контрольного состава  $\lambda = 0,8 - 0,93$  Вт/м К.

$$R_{СЖМП+СП} = 2,01 - 2,72x - 2,68y + 2,68x^2 + 2,28y^2 + 4,68xy$$

$$b(0) = 2,011111111111$$

$$b(1) = -2,72$$

$$b(2) = -2,6833333333$$

$$b(11) = 2,68333333333333$$

$$b(12) = 4,675$$

$$b(22) = 2,28333333333333$$



Рисунок 18 – МП+СП на сжатие 28 сут

$$R_{СЖМП+СП} = 4,08 - 0,072x - 0,38y + 0,075x^2 + 0,21y^2 + 0,11xy$$

$$b(0) = 4,083333333333$$

$$b(1) = -0,71666666666666$$

$$b(2) = -0,38$$

$$b(11) = 0,074999999999999$$

$$b(12) = 0,11$$

$$b(22) = 0,204999999999999$$

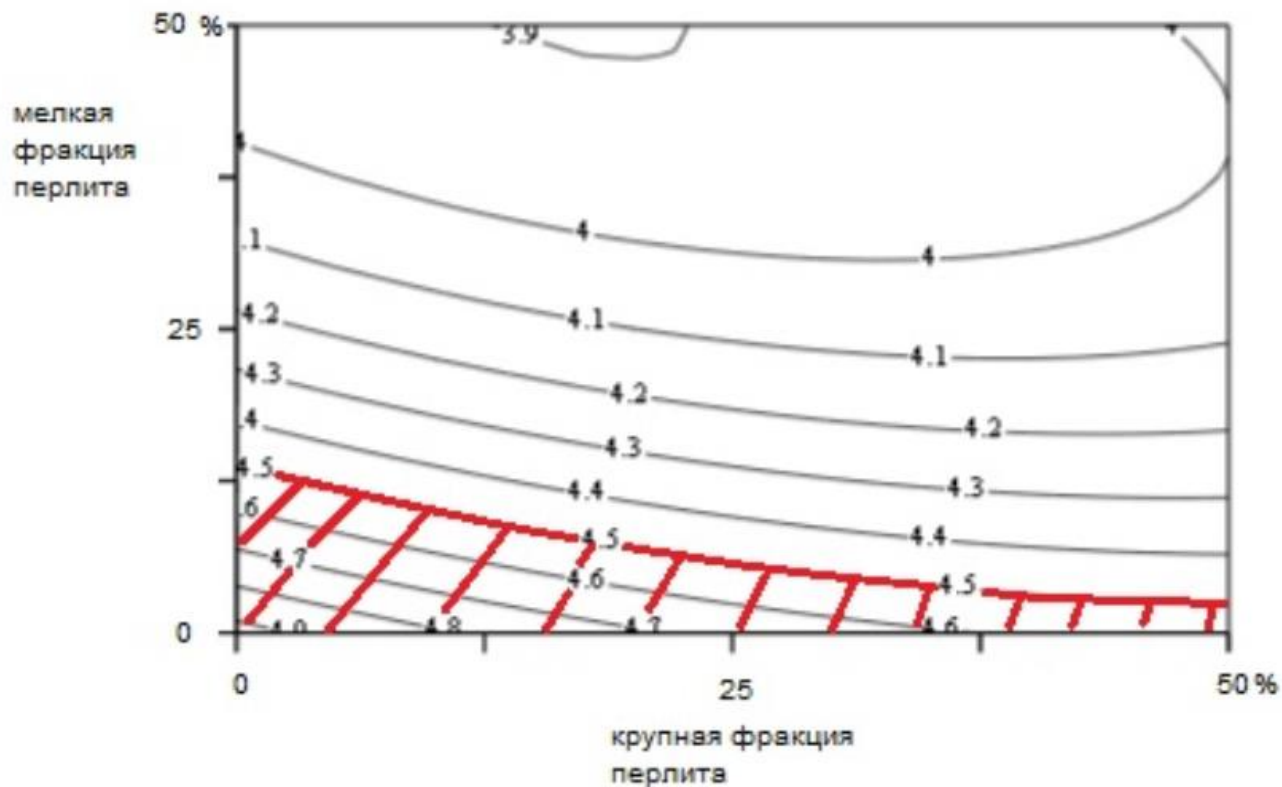


Рисунок 19 – КП+МП прочность на изгиб 28 сут

$$R_{СЖМП+СП} = 3,7 - 2,33x - 2,93y + 2,30x^2 + 2,60y^2 + 3,4xy$$

$$b(0) = 3,700000000000$$

$$b(1) = -2,333333333333$$

$$b(2) = -2,933333333333$$

$$b(11) = 2,299999999999$$

$$b(12) = 3,4$$

$$b(22) = 2,599999999999$$

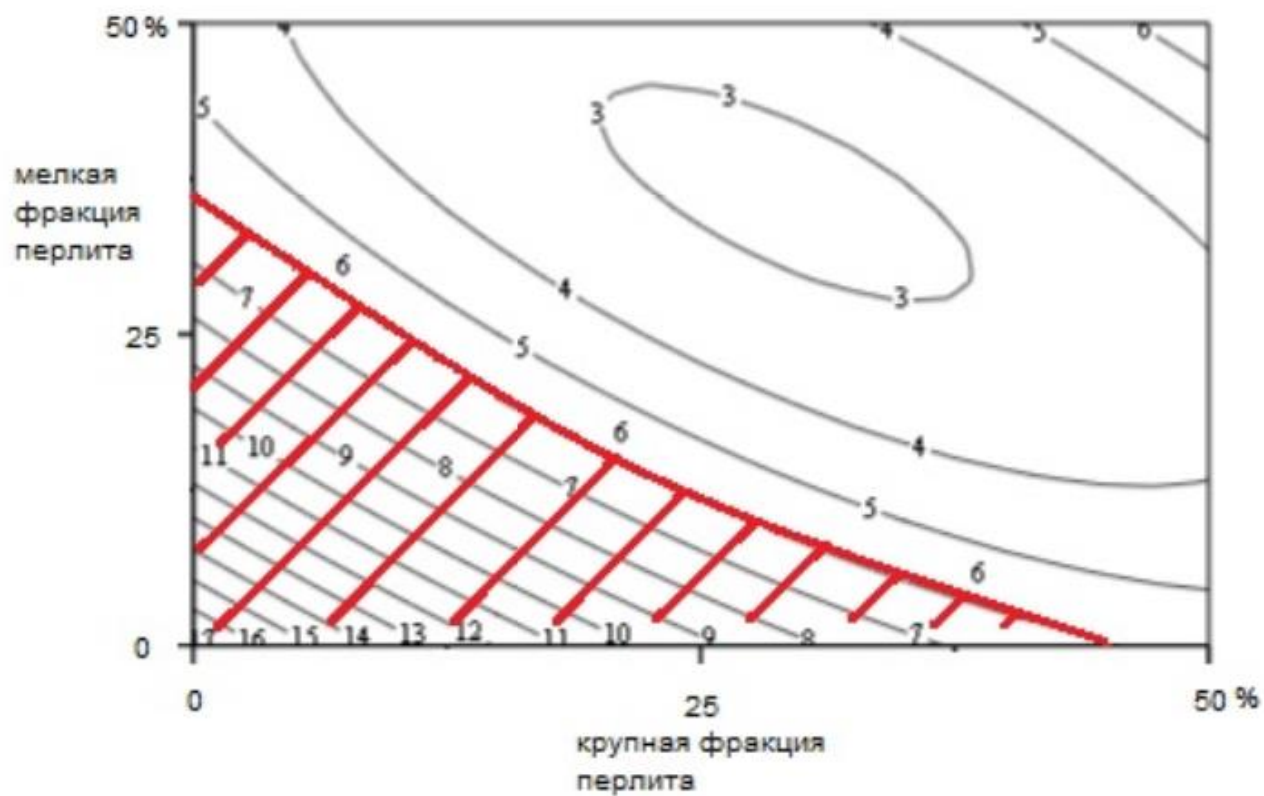


Рисунок 20 – КП+МК прочность на сжатие 28 сут

$$R_{СЖМП+СП} = 3,48 - 0,11x - 0,48y + 0,13x^2 + 0,41y^2 + 0,17xy$$

$$b(0) = 3,47666666666666$$

$$b(1) = -0,111999999999999$$

$$b(2) = -0,48$$

$$b(11) = 0,134999999999999$$

$$b(12) = 0,167$$

$$b(22) = 0,414999999999999$$

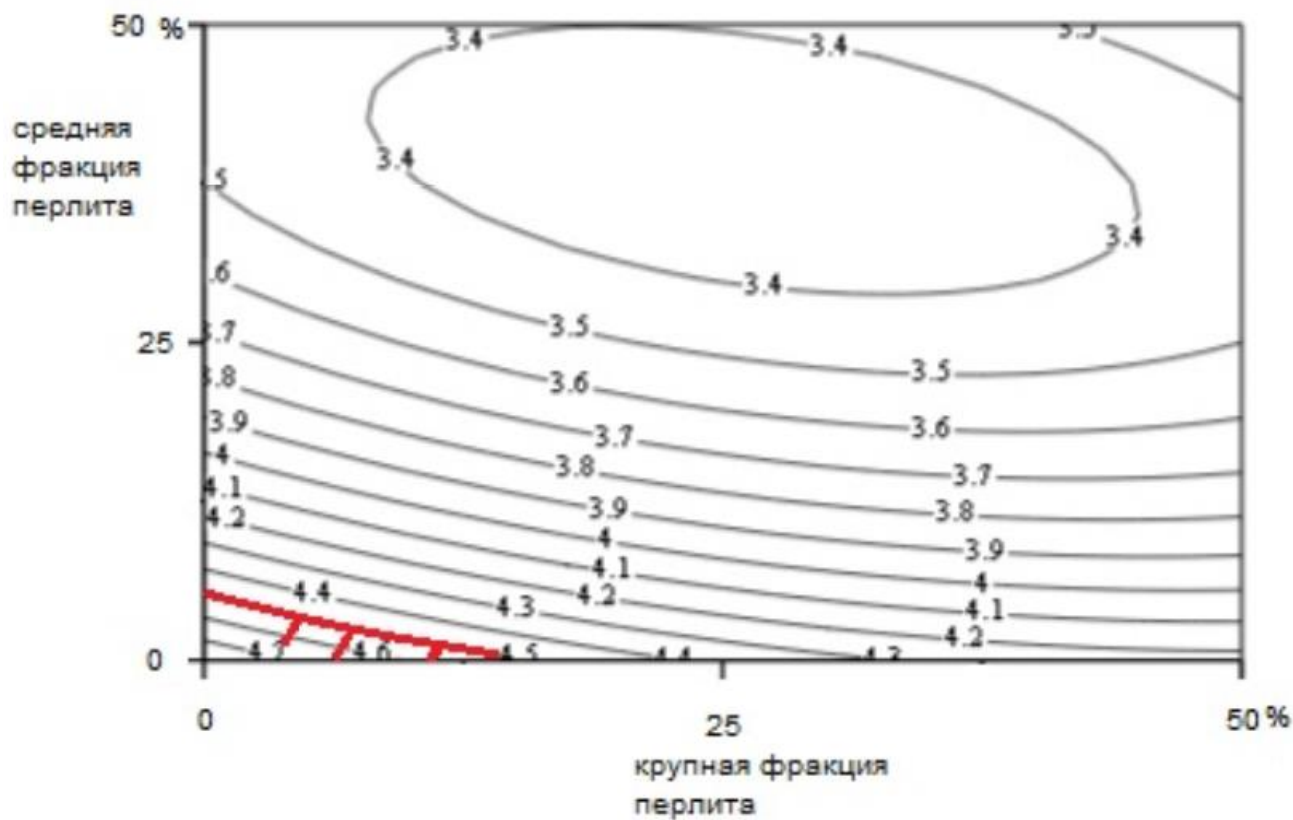


Рисунок 21 – КП+МК прочность на изгиб 28 сут

$$R_{СЖМП+СП} = 2,50 - 2,42x - 3,10y + 2,35x^2 + 2,90y^2 + 3,62xy$$

$$b(0) = 2,500000000000$$

$$b(1) = -2,416666666666$$

$$b(2) = -3,2$$

$$b(11) = 2,349999999999$$

$$b(12) = 3,62$$

$$b(22) = 2,899999999999$$



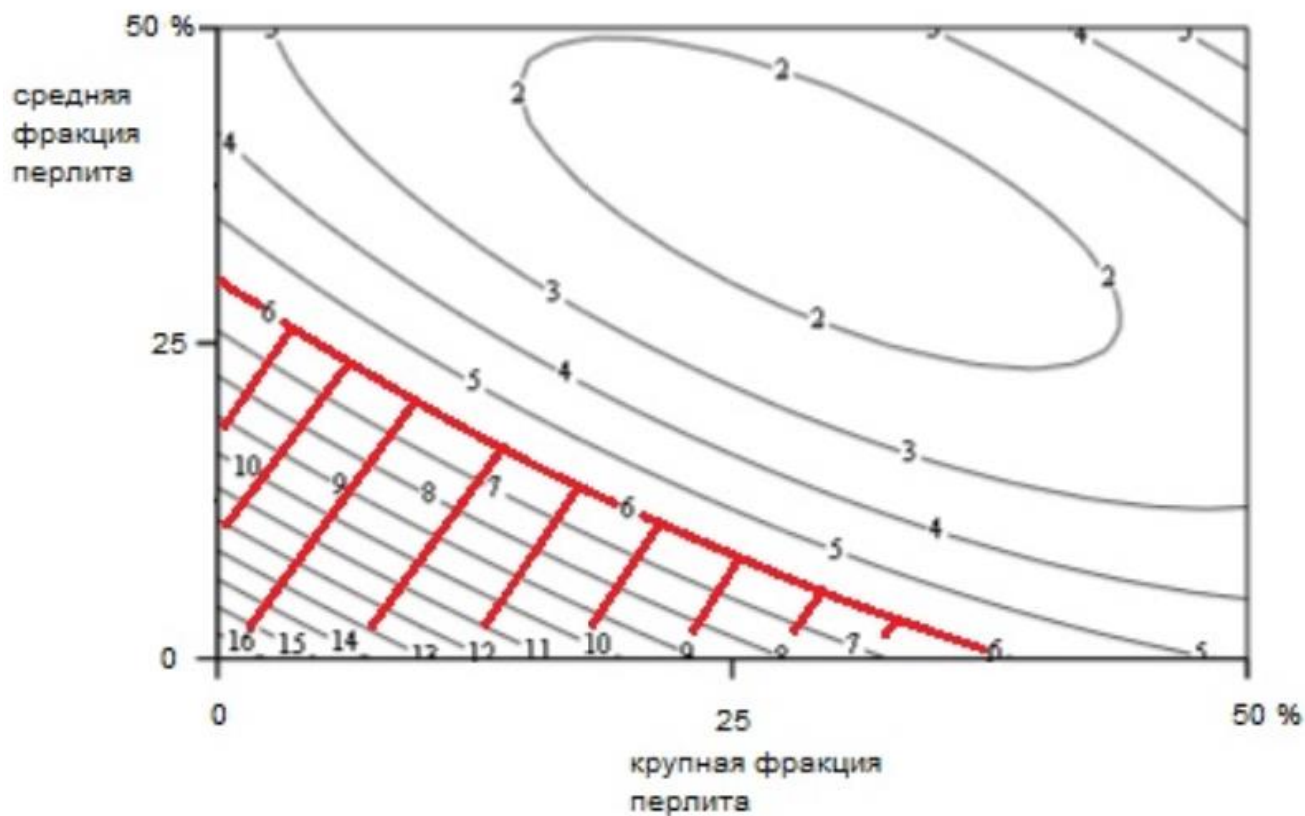


Рисунок 22 – КП+СП прочность на сжатие 28 сут

$$R_{СЖМП+СП} = 1,29 - 0,29x - 0,25y + 0,77x^2 + 0,61y^2 + 1,47xy$$

$$b(0) = 1,28666666666666$$

$$b(1) = -0,2$$

$$b(2) = -0,25333333333333$$

$$b(11) = 0,76999999999999$$

$$b(12) = 1,467$$

$$b(22) = 0,60999999999999$$

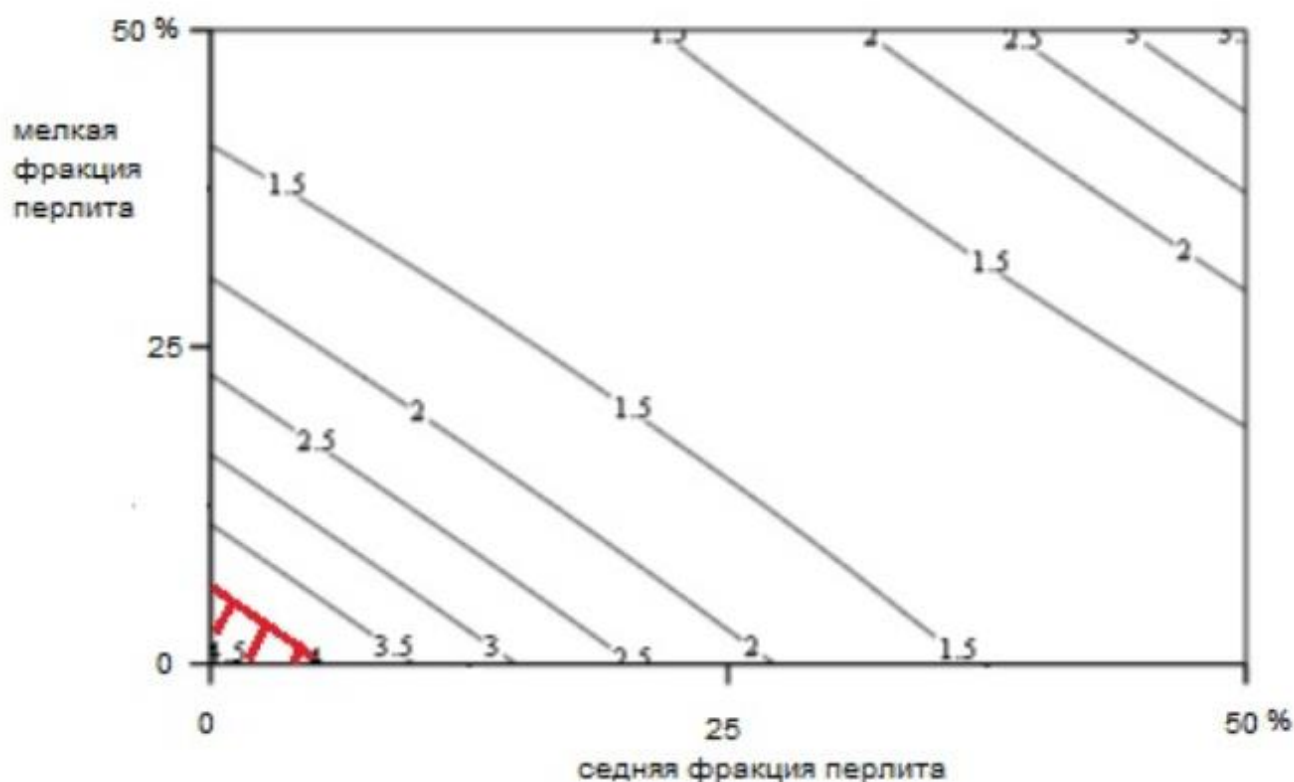


Рисунок 23 – МП+СП прочность на изгиб 28 сут

Выводы по данному исследованию:

- 1) При увеличении процентного содержания средней фракции перлита и мелкой фракции перлита прочность на сжатие снижается.
- 2) При одинаковом содержании перлита крупной и мелкой фракции прочность на сжатие возрастает, снижение процентного содержания одной из фракций путем замены одной на другую приводит к снижению прочности на сжатие.
- 3) При уменьшении процентного содержания перлита средней фракции и увеличении процентного содержания перлита крупной фракции прочность на сжатие увеличивается.

На основании этих выводов принимаем определяющим состав, где используется перлит мелкой (10-30%) и крупной (30-40%) фракции, так как их сочетание дает наибольший показатель по прочности на сжатие, равный 6МПа

## 4 ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ПЕРЛИТА И МАТЕРИАЛОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

4.1 Влияние свойств породы на удельную поверхность вспученного заполнителя и изделий на его основе.

При разработке составов теплоизоляционных материалов особое внимание уделяется межзерновой пористости, которая зависит от гранулометрического состава, формы зерен и удельной поверхности зернистого компонента. Межзерновая пустотность величина непостоянная и зависит от степени уплотнения, например, при получении изделий методом прессования. Влияние формы зерен на межзерновую пустотность сложно оценить однозначно. Принципиально наибольшую пустотность должны давать зерна сферической формы. Однако при подпрессовке хрупкие зерна вспученного перлита подвергаются разрушению, и даже в случае предварительно сферической формы происходит изменение формы зерен. При этом имеет место уменьшение межзерновой пустотности и увеличение удельной поверхности зерен.

Ниже, на рисунке 24, приводятся данные для сравнения показателей удельной поверхности перлита, вспученного при  $950^{\circ}\text{C}$  из фракции 0,63–1,25 мм перлитового сырья, классифицированного по плотности.

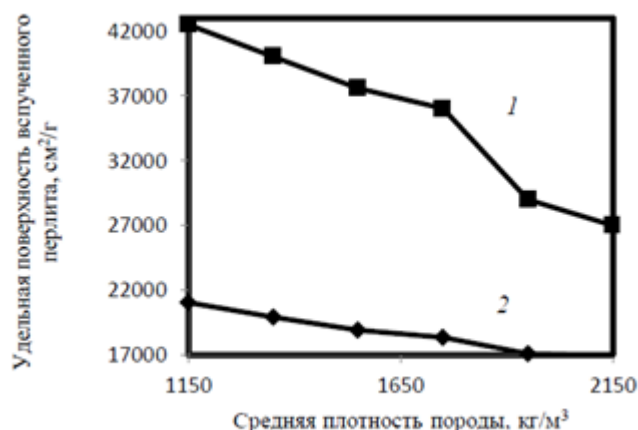


Рисунок 24 – Показатели удельной поверхности перлита, вспученного из сырья фракции 0,63–1,25 мм в зависимости от плотности породы, где данные определены: 1 – методом Клячко – Гурвича; 2 – методом Товарова

Как видно из данных, полученных разными методами, несмотря на отличающиеся значения показателей, тенденция изменения удельной поверхности вспученных перлитов в зависимости от плотности породы носит следующий характер: с повышением плотности перлитов удельная поверхность вспученных перлитовых песков снижается.

Классификация сырья по плотности и крупности фракций создает возможность получения из одного и того же сырья, вспученный перлит с различными значениями удельной поверхности, что значительно расширяет ассортимент полученных вспученных песков. Особое значение проводимые исследования имеют при использовании вспученного перлита в засыпной теплоизоляции.

Проведены также исследования влияния режимов термообработки на насыпные плотности вспученных перлитов, полученных из сырья разной плотности, показатели водопоглощения, коэффициенты теплопроводности. Все исследования показаны на примере перлита, вспученного из фракции сырья 0,63-1,25 из породы Арагацкого месторождения, классифицированной по плотности. На рисунке 25 приводятся сравнительные характеристики продукта, вспученного при температурах 950 и 850 °С. Как и следовало ожидать, данные таблицы свидетельствуют о преимуществе перлита, вспученного при температуре 950 °С. Вспучивание перлитового сырья в шахтной печи в условиях резкого нагрева-термоудара, сопровождающегося выбросом летучей фазы, приводит к интенсивной поризации перлита и разрыхлению гранул. В зависимости от условий формирования ячеистой структуры, в данном случае в зависимости от температуры вспучивания, припоровый слой может быть рыхлым и глянцевым (оплавленным).

Формирование глянцевой поверхности пор в ячеистых материалах существенно повышает прочность поризованной системы, причем тем значительнее, чем выше пористость материала. Продукт, полученный при низкой температуре (850 °С), имеет рванную, шероховатую поверхность, что отрицательно влияет на свойства вспученного перлита. В случае высокой температуры удельная поверхность вспученного перлита больше, но показатели водопоглощения, коэффициенты теплопроводности и насыпные плотности значительно ниже.

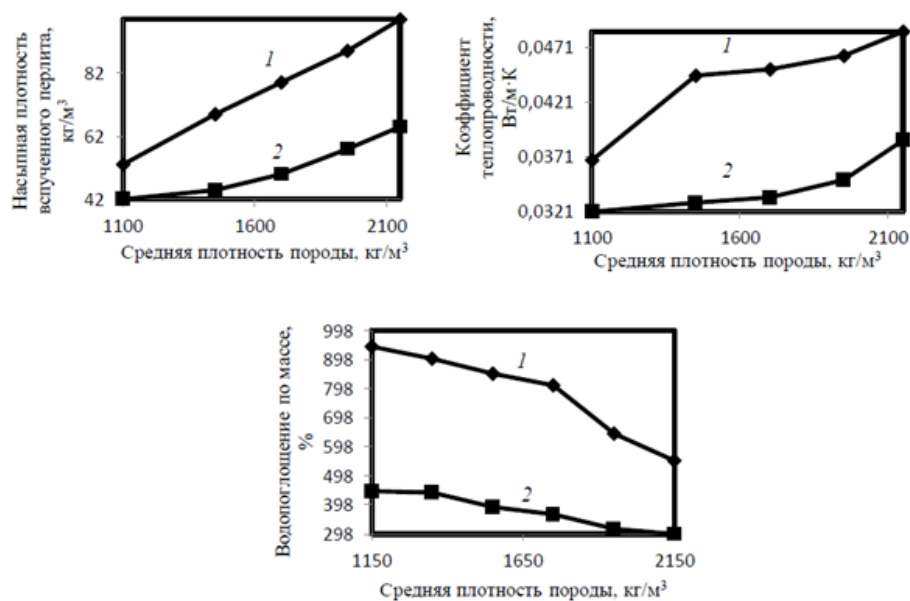


Рисунок 25 – Зависимость физико-технических характеристик вспученного перлита от режимов термообработки

1 – температура вспучивания 850 °С; 2 – 950 °С

Использование вспученного перлита в изделиях ведет к его частичному разрушению в процессе формовки материала, в связи с чем изучен процесс разрушения вспученного перлита в зависимости от плотности и крупности сырья, из которого он получен. Конечно, надо отметить, что полученные показатели носят относительный характер. В частности, исследованы перлиты, вспученные из породы плотностью 714, 1450, 1550 и 1750 кг/м³ и фракций 0,63–1,25 и 1,25–2,50 мм. Эксперименты проводились по следующей методике: определенный объем вспученного перлита с модулем крупности (Мкр) помещался в дубовый ящик размерами 300x300x300 мм, заполненный 23 дубовыми кубиками размерами 2x2x2 см. Ящик вращался со скоростью 24 об/мин в течение 5 мин. Затем вспученный перлит извлекался из ящика и определялся мкр измельченного продукта. Полученные значения приведены в таблице.

Как видно из приведенных данных, с нарастанием плотности породы и укрупнением размера сырья наблюдается тенденция повышения прочности вспученного перлита.

Известно, что характеристики легкого заполнителя играют определенную роль в формировании физико-механических свойств теплоизоляционных изделий.

В частности, для перлитовых изделий с использованием органической и неорганической связки зависимость прочности от характеристик заполнителя носит следующий характер (рисунки 26, 27).

Таблица 27 – Зависимость показателя измельчения вспученного перлита от плотности и крупности породы

Плотность породы, кг/м <sup>3</sup>	Размер фракций сырья, мм	Насыпная плотность вспученного перлита, кг/м <sup>3</sup>	Модуль (Мкр) крупности вспученного перлита		Снижение величины Мкр, %	
			До испытания	После испытания	абсолютное	относительное
714	0,63–1,25	48	1,86	1,28	0,58	31,2
	1,25–2,50	47	1,84	1,21	0,63	34,2
1450	0,63–1,25	56	1,72	1,31	0,41	23,8
	1,25–2,50	62	3,78	3,26	0,52	13,8
1550	0,63–1,25	50	2,49	2,00	0,49	19,7
	1,25–2,50	63	3,18	2,78	0,40	12,6
1650	0,63–1,25	55	3,41	2,86	0,55	16,1
	1,25–2,50	65	4,39	3,80	0,59	13,4
1750	0,63–1,25	59	2,88	2,51	0,37	12,4
	1,25–2,50	65	3,2	2,77	0,43	13,4
1850	0,63–1,25	60	2,44	2,13	0,31	12,7
	1,25–2,50	62	2,68	2,37	0,31	11,6
1950	0,63–1,25	54	3,53	3,16	0,37	10,5
	1,25–2,50	72	4,51	4,05	0,46	10,2
>200	0,63–1,25	67	3,65	3,31	0,34	9,3
	1,25–2,50	75	3,63	3,30	0,33	9,1

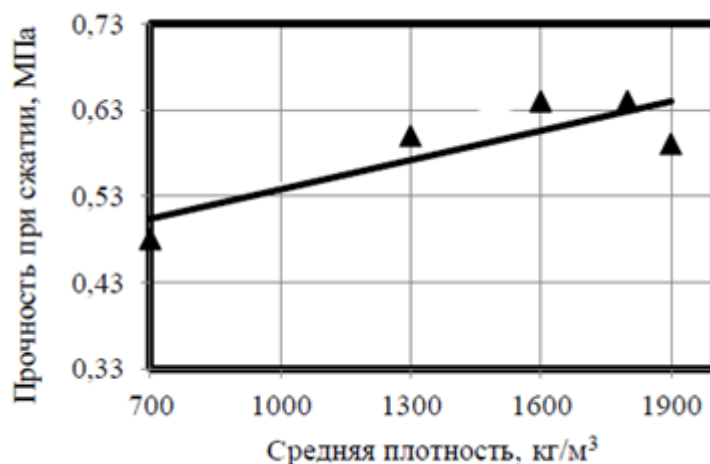


Рисунок 26 – Зависимость прочности при 10%-й линейной деформации перлитоволокнистого материала (30% волокна и 70% перлита, вспученного из фракции сырья 0,63–1,25 мм) от средней плотности породы

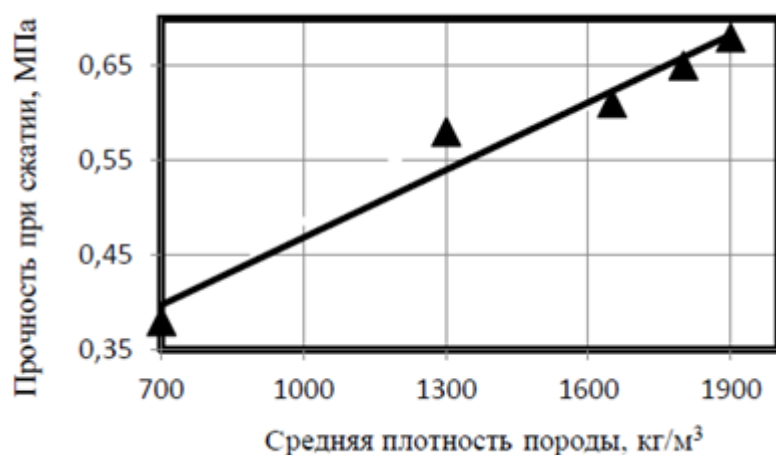


Рисунок 27 – Зависимость прочности при сжатии изделий (30% жидкого стекла и 70% перлита, вспученного из фракции сырья 0,63–1,25 мм) от средней плотности породы

Таким образом, на свойства вспученного заполнителя огромное влияние оказывают плотность породы, крупность вспучиваемого сырья, а также режимы термообработки. Полученные показатели наглядно демонстрируют зависимость свойств заполнителя и изделий на его основе от плотности породы (ранее были исследованы перлиты, вспученные из перлитового сырья всех гостовских (ГОСТ 25226–96) фракций и исследованы их физико-технические показатели в зависимости от плотности породы). Поскольку в исследованных теплоизоляционных изделиях содержание вспученного заполнителя составляет 70%, то, как и следовало ожидать, физико-технические характеристики изделий, в данном случае прочность, зависят от свойств заполнителя и плотности породы, из которого он получен.

4.2 Экономическая эффективность применения в строительстве вспученного перлита, полученного из классифицированного по плотности и крупности сырья.

Анализ опыта различных стран в решении проблемы энергосбережения показывает, что одним из наиболее эффективных путей ее решения является сокращение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений, промышленное оборудование, тепловые сети.

Однослойные конструкции фактически не соответствуют современным строительным нормативам. Поэтому в современном строительстве все большее распространение получают многослойные конструкции стен, в которых предусмотрено применение эффективных утеплителей.

В некоторых странах, таких, например, как Швеция, Финляндия, Германия, США и др., объем выпуска теплоизоляционных материалов на душу населения в 5-7 раз превышает этот показатель для России. В связи с этим появилась необходимость создания новых более эффективных материалов и повышения качества существующих теплоизоляционных изделий. Следует отметить, что качество и ограниченная номенклатура отечественных утеплителей, выпускаемых местными предприятиями.

Вспученный перлит является основным компонентом теплоизоляционных перлитовых материалов. Его процентное содержание в изделиях составляет порядка 80%. Так что, показатели теплоизоляционного материала в основном зависят от свойств вспученного перлита: чем он качественнее, тем конкурентоспособен материал на его основе.

Ранее нами было исследовано влияние свойств, в частности, плотности перлитовой породы Арагацкого месторождения на основные свойства вспученного перлита: насыпную плотность, гранулометрический состав, теплопроводность и т.д. Надо отметить, что плотность породы на месторождении колеблется в довольно широком диапазоне – от 600 до 2200 кг/м<sup>3</sup>, что является одним из основных факторов, влияющих на однородность сырья. При обеспечении однородного по плотности сырья создается возможность получения качественного вспученного заполнителя.

На рисунке 28 приведены графические зависимости показателей теплопроводности вспученного перлита и материалов на его основе от плотности и крупности вспучиваемого сырья в трехмерной системе координат.



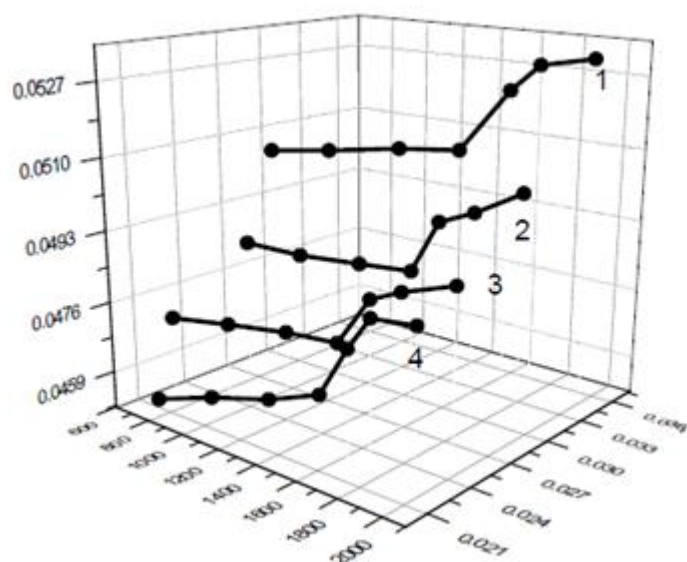


Рисунок 28 – Зависимость коэффициента теплопроводности вспученного перлита и материала на его основе от плотности и крупности вспучиваемого сырья  
 1 – материалы, полученные из фракции сырья 1,25-2,50 мм всего диапазона плотностей; 2 – фракция – 0,63-1,25 мм; 3 – фракция – 0,31-0,63 мм; 4 – фракция – 0,14-0,31 мм

Как видно из представленного графика теплопроводности как вспученного перлита, так и теплоизоляционного материала меняются в зависимости от плотности породы и размера вспучиваемых фракций, причем показатели повышаются с увеличением плотности и крупности сырья. Тенденция изменения показателей теплопроводности для всех исследуемых образцов одинакова.

В таблице 28 представлены величины количества потерь тепла через ограждающие конструкции при использовании перлитов, вспученных из классифицированного по плотности и крупности сырья по сравнению с теми же показателями, предусмотренными действующими стандартами для вспученных перлитовых песков (ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные»). В таблице приведены также сравнительные показатели потерь тепла теплоизоляционного материала на рядовом по ГОСТ 10832-91 и предлагаемом вспученном перлите.

Таблица 28 – Зависимость количества потерь тепла через ограждающие конструкции от плотности и крупности перлитового сырья

Плотность породы, кг/м <sup>3</sup>	Размер фракций сырья, мм	Истинный Ктепл. вспученного перлита, Вт/м <sup>2</sup> ·°С	Уменьшение потерь тепла (Q1)** по сравнению с ГОСТ, Вт/ч		Истинный Ктепл материала, Вт/м <sup>2</sup> ·°С	Количество потерь тепла (Q2)***, Вт/ч	
			8.46	50.47		5.81	24.83
700	0.14-0.31	0.0213	8.46	50.47	0.0451	5.81	24.83
	0.31-0.63	0.0224	8.03	47.91	0.0470	5.07	21.67
	0.63-1.25	0.0276	6.01	35.81	0.0483	4.56	19.50
	1.25-2.5	0.0295	5.27	31.39	0.0505	3.07	25.83
1000	0.14-0.31	0.0215	8.38	50.00	0.0456	5.62	24.00
	0.31-0.63	0.0227	7.92	47.21	0.0472	4.99	21.33
	0.63-1.25	0.0277	5.96	35.58	0.0483	4.56	19.50
	1.25-2.5	0.0299	5.11	30.46	0.0507	3.63	15.50
1300	0.14-0.31	0.0217	8.31	49.53	0.0460	5.46	23.30
	0.31-0.63	0.0229	7.84	46.74	0.0474	4.91	21.00
	0.63-1.25	0.028	5.85	34.88	0.0484	4.52	19.33
	1.25-2.5	0.031	4.68	27.90	0.0509	3.55	15.17
1550	0.14-0.31	0.0218	8.27	49.30	0,0465	5.27	22.50
	0.31-0.63	0.023	7.80	46.51	0.0475	4.88	20.83
	0.63-1.25	0.0282	5.77	34.42	0.0485	4.49	19.17
	1.25-2.5	0.0318	4.37	26.05	0.0510	3.51	15.00
1650	0.14-0.31	0.0259	6.67	39.77	0.0476	4.84	20.67
	0.31-0.63	0.0276	6.01	35.81	0.0485	4.49	19.17
	0.63-1.25	0.0346	3.28	19.53	0.0497	4.02	17.12
	1.25-2.5	0.0397	1.29	7.67	0.0523	3.00	12.83
1750	0.14-0.31	0.0257	6.75	40.23	0.0484	4.52	19.33
	0.31-0.63	0.0280	5.85	34.88	0.0487	4.41	18.83
	0.63-1.25	0.0333	3.78	22.56	0.0499	3.94	16.33
	1.25-2.5	0.0405	0.98	5.81	0.0529	2.77	11.83
1950	0.14-0.31	0.0261	6,59	39.30	0.0485	4.49	19.17
	0.31-0.63	0.0292	5.38	32.09	0.0490	4.29	18.33
	0.63-1.25	0.0349	3.16	18.83	0.0505	3.71	15.83
	1.25-2.5	0.0415	0.59	3.46	0.0531	2.69	11.50
700-2220	0-5.0	0.0430*	0	0	0.060*	0	0

\* – коэффициенты теплопроводности вспученного перлита М75 (ГОСТ 10832-91) и материала на его основе;

\*\* – Q1 – разница между потерями тепла при использовании предлагаемого и стандартного вспученного перлита М75 в абсолютном и процентном выражении;

\*\*\* – Q2 – разница между потерями тепла исследуемого материала при использовании в его составе предлагаемого и стандартного вспученного перлита М75 в абсолютном и процентном выражении.

Как известно, необходимым условием передачи тепла через ограждающие конструкции является наличие разности температур внутреннего и внешнего воздуха. Законы, по которым происходит передача тепла, действительны для всех видов ограждающих конструкций. Количество теряемого тепла меняется в зависимости от вида конструкций и качества утепления. Если предположить, что стена выполнена из однородного материала, то количество передаваемого теплопроводностью тепла ( $Q_T$ ), определяется по формуле:

$$Q_T = \lambda / \sigma \cdot F (t_{в} - t_{н}), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/м · °С;

$\sigma$  – толщина поверхности, м (0,1 м);

$F$  – площадь поверхности 1м<sup>2</sup>;

$t_{в}$  – температура внутри помещения, °С.

Для условий г. Еревана нами рассчитаны  $Q_T$  при температурном перепаде

$$t = t_{в} - t_{н} = 20 - (-19) = 39^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Как видно из данных, приведенных в таблице 28, теплопроводности вспученных перлитов и материалов на его основе, полученных из породы с разной плотностью и крупностью, а также рассчитанные по вышеприведенной формуле количества потерь тепла заметно отличаются друг от друга и от существующего материала на основе рядового перлита. Снижение значений коэффициентов теплопроводности способствует повышению функциональных характеристик теплоизоляционных материалов, что приводит к значительному сокращению потерь тепловой энергии через ограждения (порядка от 3,49 до 50,47% для вспученного перлита (мешкоперлита) и от 11,50 до 24,23% для теплоизоляционного материала) т.е. достигается значительная экономия энергоресурсов. С учетом условий эксплуатации, т.е. расчетного коэффициента теплопроводности приведенные значения несколько изменятся: для вспученного перлита это составит – от 2,75 до 39,86% и для теплоизоляционного материала – от 10,47 до 22,61%.

Согласно требованиям СНиП «Строительная теплотехника» II-7, 102-98 для разных районов Армении теплосопротивление ( $R_T$ ) принято равным

$$2,0-3,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт.}$$

$$R_T = \sigma/\lambda \quad (4)$$

Если наружная стена выполнена из тугой кладки толщиной 20 см, то при плотности туфа  $1400 \text{ кг/м}^3$  -  $\lambda = 0,43 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ .

Для туфовой кладки с учетом расчетного коэффициента теплопроводности согласно вышеуказанным СНиП

$$R_{T.k.} = 0,20/0,52 = 0,38(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт},$$

где  $0,52 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$  – усредненный коэффициент теплопроводности туфовой кладки с учетом условий эксплуатации.

Чтобы повысить термическое сопротивление ограждающих конструкций, стену утепляют теплоизоляционным материалом, т.е. делают многослойной. В нашем случае  $R_{\text{общ}}$  с применением предложенного теплоизоляционного материала с минимальной теплопроводностью составит:

$$R_{T.m.} = 0,1/0,0511 = 1,96 (\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$$

$$R_{\text{общ.1}} = R_{T.k.} + R_{T.m.} = 0,38 + 1,96 = 2,34 (\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$$

$R_{\text{общ.2}}$  с применением предложенного теплоизоляционного материала с максимальной теплопроводностью составит –  $2,07(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$ .

Термическое сопротивление при использовании в качестве теплоизоляции мешкоперлита, полученного по предложенной технологии, с минимальным и максимальным коэффициентом теплопроводности составит соответствен-

$$\text{но } R_{\text{общ.3}} = 3,38 \text{ и } R_{\text{общ.4}} = 2,25 (\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}.$$

Согласно СНиП 2.04.05-91 сопротивление теплопередаче  $R_o$ ,  $(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$ , ограждающей конструкции с учетом коэффициентов теплоотдачи внутренней поверхности ( $\alpha_{в}$ ) и наружной ограждающей конструкции (для зимних условий) определяется по формуле:

$$R_o = 1/\alpha_{в} + R_k + 1/\alpha_{н}, \quad (5)$$

где  $R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2\cdot\text{°C})/\text{Вт}$ , определяемое, для многослойной стены по формуле (5).

$\alpha_{н}$  – принимается равным  $12 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$ ;

$\alpha_{в}$  – принимается равным  $8,7 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$ .

Согласно расчету, термическое сопротивление для теплоизоляционного материала с минимальным коэффициентом теплопроводности

$$R_{0 \text{ т.м.1}} = 1/8,7 + 2,34 + 1/12 = 3,16 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

$$\text{и с максимальным} - R_{0 \text{ т.м.2}} = 2.26 \text{ (м}^2 \text{ °C)/Вт}$$

и с мешкоперлитом  $R_{0 \text{Зм.п}}$  (с минимальным коэффициентом теплопроводности) и  $R_{0 \text{4мп}}$  (с максимальным коэффициентом теплопроводности) составит соответственно 3.57 и 2.44 (м<sup>2</sup> °C)/Вт.

Т.е. при применении предложенного материала можно уложиться в требуемые СНиП нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций стен, покрытий и перекрытий зданий при принятой толщине теплоизоляции.

Кроме того, при использовании теплоизоляции со значительно меньшей плотностью возможно сокращение материальных затрат, т.е. достигается экономия материальных ресурсов и облегчение зданий и сооружений без нарушения установленных норм.

Поскольку в вышеуказанном СНиПе предусмотрены разные значения термических сопротивлений для различных районов, то использование полученных зависимостей открывает перспективу выбора наиболее оптимального заполнителя с улучшенными характеристиками и гарантированным набором свойств, что позволит сэкономить материало- и энергоресурсы.

Особенно благоприятно строительство облегченных зданий и сооружений в зонах с активной сейсмичностью.

Следует отметить также, что полученные материалы могут быть эффективно использованы для высокотемпературной изоляции, т.к. работают без изменения свойств до 600°С.

#### 4.3 Мультифрактальный подход при оценке перлитовой структуры

Язык фрактальной геометрии нашел широкое применение также при оценке структуры и качества металлов.

Его применение обусловлено неполнотой формальной аксиоматики, возникающей при идентификации структуры различных масштабных уровней, что отражается на результатах прогноза критериев качества металла на основании анализа элементов его структуры. Для частичной компенсации неполноты формальной аксиоматики используется фрактальный подход.

В строительстве часто используют стали со структурой пластинчатого перлита, обеспечивающего необходимый комплекс механических свойств. Подобные структуры, в основном, оцениваются балловой шкалой, что вносит определенную погрешность при прогнозе показателей качества сталей перлитного класса.

В работе предлагается для исследования структуры пластинчатого перлита различной дисперсности применять мультифрактальный подход, базирующийся на размерностных оценках его составляющих (феррита и цементита). Применение такого подхода обусловлено неоднородностью структуры пластинчатого перлита, что характерно для неоднородных фракталов (мультифракталов).

Материалы и методики. Исследовалась перлитная структура сталей с применением мультифрактального анализа. С этой целью рассматривалась балловая шкала № 1 пластинчатого перлита согласно ГОСТ 8233 «Сталь. Эталоны микроструктуры».

В зависимости от межпластинчатого расстояния между пластинами феррита и цементита структура пластинчатого перлита подразделяется на 10 баллов, согласно приведенной ниже таблице и рисунку 29.

**ШКАЛА 1**  
**Пластинчатый перлит, 1000**

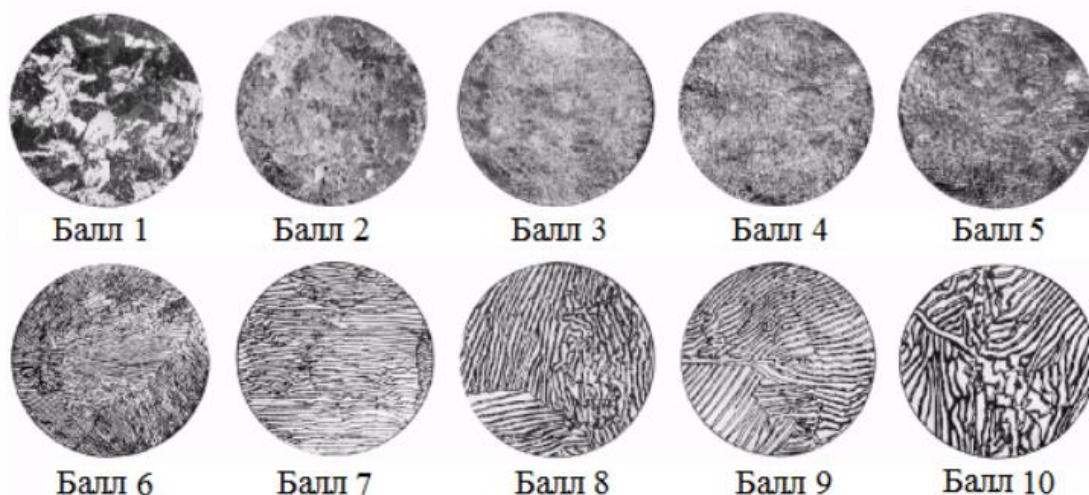


Рисунок 29 – Эталонная шкала 1, используемая для определения дисперсности пластинчатого перлита

При мультифрактальном анализе спектр размерностей  $D(q)$  может изменяться в зависимости от величины показателя степени  $q$ , который может принимать значения на интервале от  $-\infty$  до  $+\infty$ , и естественно, что в этом интервале могут находиться элементы спектра любого генерирующего его объекта согласно формуле Реньи.

$$D(q) = \frac{1}{q-1} \cdot \lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{\ln \sum_{i=1}^N p_i^q}{\ln \delta}, \quad (6)$$

где  $\delta$  – ячейка, являющаяся единичным элементом квадратной сетки, которой покрывают исследуемый объект для вычисления его размерности;

$p_i$  – представляет собой вероятность попадания точки, находящейся на исследуемом объекте, в  $i$ -ю ячейку квадратной сетки с размером  $\delta$ ;

$\sum_{i=1}^N p_i^q$  – обобщенная статистическая сумма, характеризуемая показателем степени  $q$ , который может принимать любые значения в диапазоне от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

Обозначив через  $D_0, D_1, D_2, D_\infty, D_{-\infty}$  фрактальные размерности, характеризующие соответственно:  $D_0$  – однородный фрактал при  $q = 0$  (размерность Хаусдорфа–Безиковича);  $D_1$  – информационную размерность при  $q = 1$  (информационную энтропию) характеризующую скорость роста количества информации и показывающую, как возрастает информация, необходимая для определения ме-

стоположения точки, находящейся на объекте исследования, при стремлении размера ячейки  $\delta$  к нулю;  $D_2$  – корреляционную размерность, при  $q = 2$  характеризующую вероятность нахождения в одной и той же ячейке сетки двух точек, находящихся на объекте наблюдения;  $D_\infty$  – размерность, характеризующую наиболее разреженное пространство в объекте наблюдения;  $D_{-\infty}$  – размерность, характеризующую наиболее концентрированное пространство, наблюдаемое в этом объекте.

Результаты эксперимента. Статистические размерности пластинчатого перлита в диапазоне от  $D_{-100}$  до  $D_{100}$  рассчитывались по приведенной выше формуле (рисунок 30). Как показали результаты расчетов, численные значения размерностей  $D_{-100}$  и  $D_{100}$  уменьшались при возрастании межпластинчатого расстояния от 0,2 мкм (балл 1) до 2 мкм и более (балл 10). В данном случае размерности  $D_{-100}$  соответствуют темные элементы структуры (цементит), а размерности  $D_{100}$  – светлые элементы структуры (феррит).

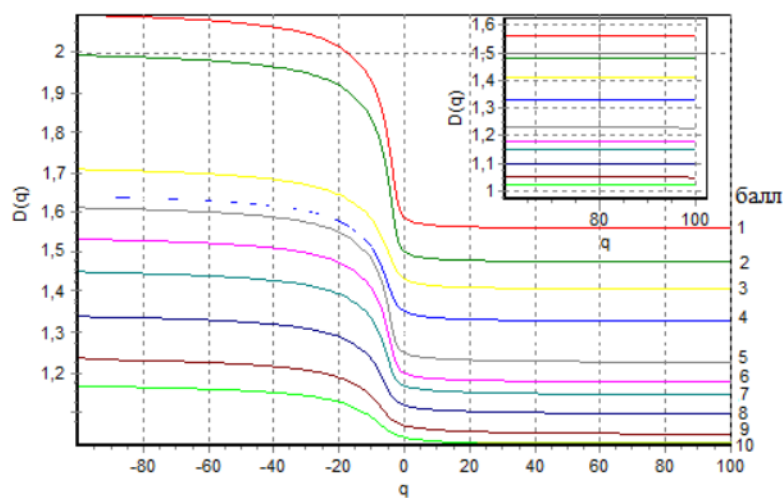


Рисунок 30 – Спектр обобщенных размерностей пластинчатого перлита

Гистограмма, приведенная на рисунке 31, описывает влияние дисперсности пластинчатого перлита на размерностные оценки пластин цементита и феррита.

Установленные на рисунке 30 соотношения между размерностями пластинчатого перлита и величиной балла  $n$  описываются уравнениями регрессии (1) и (2):

1) для цементита

$$D_{-100} = -0,0607n + 1,5847$$



$$R^2 = 0,97.$$

2) для феррита

$$D_{100} = -0,0976n + 2,116$$

$$R^2 = 0,95.$$

Показатели размерности пластинчатого перлита D-100 до D100 повышаются с возрастанием его дисперсности. С геометрической точки зрения, когда пластины цементита и феррита начинают разрешаться под микроскопом при заданном увеличении 1 000, их становится меньше на исследуемой единице площади, а значит, они вносят меньший вклад в значения размерностей феррита и цементита соответственно. Это влияет на уменьшение численных показателей размерностей феррита и перлита при возрастании их межпластинчатого расстояния.

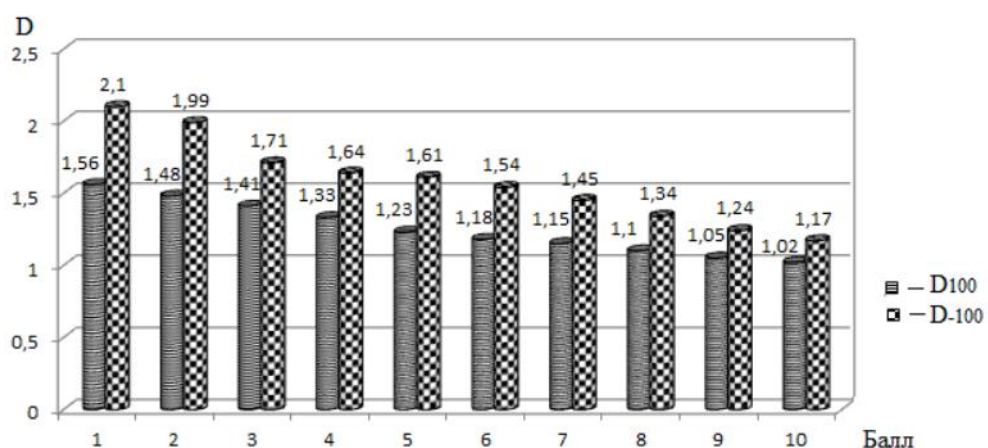


Рисунок 31 – Распределение балла дисперсности перлита в зависимости от статистических размерностей

Полученные результаты свидетельствуют о существовании чувствительности статистических размерностей пластинчатого перлита к изменениям его дисперсности, которая, в свою очередь, отражается на критериях качества сталей. С этих позиций размерности пластинчатого перлита можно использовать наряду с их балловой оценкой при прогнозе качества металла на основании анализа его структуры

Проведен мультифрактальный анализ структуры пластинчатого перлита в зависимости от изменения его дисперсности по балловой шкале 1 (ГОСТ 8233). Отмечается уменьшение значений статистических размерностей пластин феррита и цементита при возрастании межпластинчатого расстояния от 0,2 мкм (балл 1) до

2 мкм и более (балл 10), что можно использовать при прогнозе качества сталей перлитного класса.

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Безопасность жизнедеятельности

Конституция Российской Федерации, как одно из основных прав граждан, гарантирует право на охрану здоровья (статья 410). Естественным следствием этого является право работника на здоровье и безопасность на работе, что также является отдельным принципом в форме субъективного права в ст. 37 Конституции.

В соответствии с Трудовым кодексом (статья 211), правила, процедуры и критерии были установлены для защиты жизни и здоровья работников в процессе их работы. В ст. 212 определяет обязанности по обеспечению безопасных условий труда и охраны труда в организациях, которые возлагаются на работодателя.

5.1.1 Краткое описание рассматриваемого проекта, процессов, оборудования, условий труда

Научно-исследовательская работа проводилась в цехе кафедры «Строительные материалы и изделия» ЮУрГУ, расположенном в лабораторном корпусе Архитектурно-строительного института.

Работа включает в себя следующие процессы:

- исследование свойств вяжущего;
- определение зернового состава песка;
- сушка песка в сушильном шкафу;
- формование балочек-образцов для испытания их на изгиб и на сжатие.

При проведении исследований использовалось следующее оборудование:

- гидравлический пресс для испытаний на сжатие;
- прибор для испытаний на изгиб;
- весы электронные и механические;
- сушильный шкаф;
- вибротельница;
- сита разной фракции.

5.1.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Согласно ГОСТ 12.0.003 – 74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при изготовлении вяжущего в лабораторных условиях опасными и вредными факторами являются:

- механизмы, подвижные части оборудования;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности заготовок, инструментов и оборудования;
- действие электрического тока;
- токсические;
- раздражающие;
- температура воздуха;
- относительная влажность;
- скорость движения воздуха;
- тепловое облучение;
- умственное перенапряжение;
- монотонность труда.

### 5.1.3 Микроклимат

Источником тепловыделения в лаборатории является сушильная камера. В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» работы, производимые в лаборатории, относятся к категории легких работ класса Ib: интенсивность энергозатрат от 121 до 150 ккал/ч. Работы производятся стоя и сопровождаются незначительными физическими нагрузками.

Таблица 29 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21–23	15–75	0,1
Теплый	22–24	15–75	0,2

Таблица 30 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	24–25	60–40	Не более 0,2
Теплый	28–30	60–40	0,1–0,3

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50% поверхности тела и более и 100 Вт/м<sup>2</sup> – при облучении не более 25% поверхности тела. Выделение конвекционного тепла предотвращается устройством вентиляции согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление вентиляция и кондиционирование».

Для поддержания постоянных значений параметров воздуха – влажности, температуры и скорости движения так же существует система вентилирования и кондиционирования.

#### 5.1.4 Запыленность рабочей зоны

Причинами профессиональных заболеваний являются несовершенство технологических процессов, несовершенные условия труда, несовершенство рабочих мест, профессиональный контакт с инфекционными агентами, несовершенство санитарно-технических сооружений. В этот список стоит добавить нарушение правил охраны труда. Статистические проверки Роспотребнадзора показывают, что до 60% рабочих мест в строительной отрасли не соответствуют необходимым условиям. Но стоит отметить, что на самом деле работники не всегда соблюдают

правила техники безопасности, в частности, не используют выданные им средства индивидуальной защиты(СИЗ).

Вредные вещества – это пыль, которая поднимается во время работы, и мелкие материалы, которые вызывают раздражение и проникают в органы дыхания. (ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»). Повышенное загрязнение воздуха в рабочей зоне связано с дозированием и смешиванием компонентов, используемых в научных исследованиях. Такими компонентами являются гипс и золошлаковая смесь.

Поскольку эти материалы имеют высокую удельную поверхность, они могут быть осаждены в легких человека и с их постоянным использованием появляется одышка, кашель и сухость во рту. Кроме того, при длительном воздействии пыли человек рискует заболеть силикозом. В список профессиональных заболеваний так же стоит отнести хронические простуды, простатит, грыжа, респираторные заболевания. У женщин-строителей, особенно у тех, кто занимается отделкой, заболеваемость гинекологическими заболеваниями увеличивается.

Прямой, длительный контакт с кожей рук может вызвать сухость кожи. В здании лаборатории предусмотрена вытяжная вентиляция для предотвращения вредного воздействия пыли.

Фактическая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, то есть СО соответствует 4 классу опасности, значит, данное вещество малоопасно. Воздух помещения очищался приточно-вытяжной вентиляцией цеха.

Таблица 31 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Особенности действия на организм
Цемент	CaSiO <sub>3</sub>	6	а	IV
Углерод оксид	СО	20*	п	О**
Силикаты стеклообразные вулканического происхождения	[R <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub> ] <sub>n</sub> SiO <sub>2</sub>	4	а	III

При длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 50 мг/м<sup>3</sup>, при длительности работы не более 30 мин – до 100 мг/м<sup>3</sup>, при длительности работы не более 15 мин – 200 мг/м<sup>3</sup>. Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2 ч;

\*\* О – вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе.

Нельзя применять открытый огонь и курить в помещениях.

Вентиляция помещений, в которых работают с добавками, должна соответствовать требованиям главы СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

Химические добавки должны храниться в упакованном виде в вентилируемых, сухих складских помещениях при соблюдении особых правил хранения конкретных веществ.

В помещениях, где хранятся добавки или ведут работы с их использованием, запрещается принимать пищу. При попадании раствора добавки в глаза или на слизистые оболочки необходимо срочно промыть пораженные участки чистой водой или 2% раствором борной кислоты.

#### 5.1.5 Освещение

Освещенность на рабочем месте должна отвечать условиям оптимальной работы зрения при заданных размерах объекта различения.

Правильно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда. ГОСТ 12.0.003 – 74. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» содержит следующие опасные и вредные факторы, связанные с неудовлетворительным освещением:

- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- пониженная контрастность;

- прямая и отраженная блескость;
- повышенная пульсация светового потока.

Воздействие этих факторов вызывает преждевременное утомление, притупляет внимание, снижает производительность труда, может привести к ухудшению зрения и оказаться причиной несчастного случая.

Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполнения зрительной работы.

С целью обеспечения равномерности распределения яркости на рабочей поверхности на участке используют при естественном освещении комбинированное освещение (верхнее и боковое), при искусственном – общее и местное освещение.

Величина освещенности должна быть постоянна во времени. Наибольшая видимость создается при падении световых лучей на рабочую поверхность под углом  $60^\circ$  к ее нормали.

Нормирование производственного освещения ведется по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».

Рабочим местом является цех учебного корпуса. Цех имеет большую площадь остекления (3 окна размерностью 3x4 м).

В светлое время суток коэффициент естественного освещения КЕО на рабочем месте должен составлять 0,5% и более.

Недостаточность естественного освещения, если это необходимо, компенсируется хорошим искусственным освещением, представленным 16 лампами накаливания, расположенных над рабочими местами в цехе.

#### 5.1.6 Шум

Шум неблагоприятно воздействует на человека. Продолжительное действие сильного шума на организм вызывает общее утомление, повышение кровяного давления, снижение остроты слуха, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения и снижение работоспособности. Постоянное воздействие шума приводит к бессоннице, раздражительности.



В цехе источником шума является устройство для испытания балочек-образцов на изгиб и пресс для испытания их же на сжатие. Однако, в виду непродолжительности воздействия и малых габаритов, данные приборы не оказывают значительного вредного влияния на организм человека.

Основой нормирования шума является ограничение звуковой энергии, воздействующей на человека в течение рабочей смены, значениями, безопасными для его здоровья и работоспособности. Нормирование учитывает различие биологической опасности шума в зависимости от спектрального состава и временных характеристик и производится в соответствии с ГОСТ 12.1.003 – 83 «Шум. Общие требования безопасности», СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в жилых помещениях общественных зданий и на территории жилой застройки».

Таблица 32 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах (дБА)

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	–	–	–
Напряженный труд 2 степени	50	50	–	–	–

Для борьбы с механическим шумом используют смазочные и прокладочные материалы. Коллективным методом защиты от шума являются звукопоглощающие облицовки, перегородки, кожухи. Индивидуальные меры защиты включают использование вкладышей, наушников.

#### 5.1.7 Безопасность производственных процессов и оборудования

Общие требования безопасности согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»:

Требования к конструкции и ее отдельным частям:

– конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих;

– конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа);

– движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование;

– конструкция зажимных, захватывающих, подъемных и загрузочных устройств или их приводов должна исключать возможность возникновения опасности при полном или частичном самопроизвольном прекращении подачи энергии, а также исключать самопроизвольное изменение состояния этих устройств при восстановлении подачи энергии;

– производственное оборудование должно быть пожаро-, взрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации;

– производственное оборудование, являющееся источником шума, ультразвука и вибрации, должно быть выполнено так, чтобы шум, ультразвук и вибрация в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации не превышали установленные стандартами допустимые уровни.

Требования к рабочим местам:

– размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего;

– при проектировании рабочего места следует предусматривать возможность выполнения рабочих операций в положении сидя или при чередовании по-

ложений сидя и стоя, если выполнение операций не требует постоянного передвижения работающего.

Требования к системе управления:

– система управления должна обеспечивать надежное и безопасное ее функционирование на всех предусмотренных режимах работы производственного оборудования и при всех внешних воздействиях, предусмотренных условиями эксплуатации. Система управления должна исключать создание опасных ситуаций из-за нарушения работающим (работающими) последовательности управляющих действий;

– система управления технологическим комплексом должна исключать возникновение опасности в результате совместного функционирования всех единиц производственного оборудования, входящих в технологический комплекс, а также в случае выхода из строя какой-либо его единицы;

– орган управления аварийным остановом после включения должен оставаться в положении, соответствующем останову, до тех пор, пока он не будет возвращен работающим в исходное положение; его возвращение в исходное положение не должно приводить к пуску производственного оборудования;

– полное или частичное прекращение энергоснабжения и последующее его восстановление, а также повреждение цепи управления энергоснабжением не должны приводить к возникновению опасных ситуаций.

Требования к работе гидравлического прессы:

– конструкция гидравлических прессов должна отвечать требованиям ГОСТ 12.2.017 «Оборудование кузнечнопрессовое» и ГОСТ 12.2.117 «Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические»;

– все детали прессы, находящиеся под давлением, необходимо подвергать постоянному осмотру, периодическим освидетельствованиям и испытаниям согласно ПБ 10-573-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» и ПБ 03-576-03 «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденным Ростехнадзором;

- подвижная траверса пресса должна скользить по направляющим с минимальным зазором, не допуская перекоса;
- подвижная траверса не должна доходить до верхнего положения на 30 - 400 мм, для чего пресс должен быть оборудован конечным выключателем. На колоннах должны быть установлены специальные ограничители (или конечные выключатели) хода вниз;
- прессы должны быть снабжены устройством, предотвращающим самопроизвольное опускание подвижной траверсы;
- прессы должны быть снабжены устройствами для удержания подвижной траверсы в верхнем положении при выполнении ремонтных и наладочных работ;
- при проведении испытаний запрещается поправлять образец без выключения пускового механизма и полной остановки траверс.

Для безопасной работы с сушильным агрегатом необходимо соблюдать следующие правила:

- загрузочное окно агрегата должна закрываться плотно прилегающей заслонкой с необходимой теплоизоляцией;
- сушильный шкаф должен иметь такую изоляцию стен и сводов, чтобы температура наружных поверхностей обеспечивалась в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.9-93 «Безопасность электротермического оборудования». При соблюдении всех требований, приведенных выше обеспечивается безопасность условий труда.

#### 5.1.8 Электробезопасность

В данной работе используются электроустановки напряжением до 380 В – гидравлический пресс для определения прочности образцов при сжатии и изгибе, сушильная камера. Защита от воздействия электричества тока сводится к надежной изоляции токопроводящих проводов и кабелей, установке защитного заземления, установке защитных автоматов-выключателей.

Во избежание термических ожогов необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприборами. Значение ПДУ напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном ре-

жиме электроустановок для постоянного и переменного тока устанавливается ГОСТ 12. 1.038-82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов».

Таблица 33 – ПДУ напряжений прикосновения токов

Режим работы	Род тока					
	Переменный (50 Гц)			Постоянный		
	U, В	I, mA	Продолжительность протекания силы тока	U, В	I, mA	Продолжительность протекания силы тока
Нормальный	2	0,3	< 10 мин	8	1	< 10 мин
Аварийный	20	6	> 1 сек	–	–	–

По электробезопасности помещение лаборатории относится к категории без повышенной опасности.

Данное оборудование регулярно проверяется на наличие неисправностей. К работе с ним не допускаются лица, не изучившие описание эксплуатации и не расписавшиеся в журнале по технике безопасности.

Для защиты человека от поражения электрическим током применяются следующие меры:

- все электроустановки согласно ГОСТ 12.1.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» заземлены медными проводами. Заземлитель и заземленный провод присоединен при помощи хомута из меди или латуни, на участке, зачищенном от краски;

- согласно ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования», обеспечена недоступность токоведущих частей электроустановок и приборов;

- контроль изоляции и профилактика ее повреждения.

#### 5.1.9 Пожаробезопасность

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности согласно ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования», являются:

- повышенная температура окружающей среды;
- пламя и искры;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

Помещение по пожароопасности относится к категории Д – пониженной пожароопасности.

Обеспечение пожарной безопасности объектов защиты в соответствии с № 123-ФЗ – «Федеральный закон. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»:

1. Каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения пожарной безопасности.

2. Целью создания системы обеспечения пожарной безопасности объекта защиты является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре.

3. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

4. Система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты в обязательном порядке должна содержать комплекс мероприятий, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска, установленного настоящим Федеральным законом, и направленных на предотвращение опасности причинения вреда третьим лицам в результате пожара.

Некоторые правила согласно «Постановлению от 25 апреля 2012 г. № 390 О противопожарном режиме» на производственных объектах:

– технологические процессы проводятся в соответствии с регламентами, правилами технической эксплуатации и другой утвержденной в установленном порядке нормативно-технической и эксплуатационной документацией, а оборудование, предназначенное для использования пожароопасных и пожаровзрывоопас-

ных веществ и материалов, должно соответствовать конструкторской документации;

– руководитель организации обеспечивает при работе с пожароопасными и пожаровзрывоопасными веществами и материалами соблюдение требований маркировки и предупредительных надписей, указанных на упаковках или в сопроводительных документах;

– руководитель организации обеспечивает исправное состояние искрогасителей, искроуловителей, огнезадерживающих, огнепреграждающих, пыле- и металлоулавливающих и противовзрывных устройств, систем защиты от статического электричества, устанавливаемых на технологическом оборудовании и трубопроводах;

– для мойки и обезжиривания оборудования, изделий и деталей применяются негорючие технические моющие средства, за исключением случаев, когда по условиям технологического процесса для мойки и обезжиривания оборудования, изделий и деталей предусмотрено применение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей;

– руководитель организации обеспечивает проведение работ по очистке стен, потолков, пола, конструкций и оборудования помещений от пыли, стружек и горючих отходов;

– сушильные камеры периодического действия и калориферы перед каждой загрузкой очищаются от производственного мусора и пыли;

– запрещается эксплуатация сушильных установок с трещинами на поверхности боровов и неработающими искроуловителями.

В помещении лаборатории находятся первичные средства пожаротушения: огнетушитель пенный (ОХП–15), огнетушитель углекислотный (ОУ–10), пожарный щит с ручными средствами тушения, пожарный кран. В здании предусмотрены пути эвакуации, наружные пожарные лестницы, аварийные люки, имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций не меньше времени, необходимого для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожара, а также пожарная сигнализация, система оповещения, пожарные знаки.

## 6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

### 6.1 Оценка экономической эффективности

Оценка экономической эффективности применения разработанного состава цементного вяжущего для сравнения себестоимости продукта с применением перлитового наполнителя и без.

Себестоимость продукции – это основной экономический показатель, который определяет конкурентоспособность продукции и производства. К себестоимости относят все затраты, связанные с производством и реализацией продукции. Экономический эффект определяем исходя из стоимости материалов для производства единицы продукции.

Для определения экономического эффекта в качестве контрольного был принят состав цементное вяжущее – 100%, перлитовый песок – 0%. Расход материалов на 1м<sup>2</sup> поверхности растворной смеси и их стоимость приведены далее в таблицах 34 и 35.

Таблица 34 – Исходные данные

Количество рабочих дней	365
Продолжительность смены, ч	8
Производительность в смену, т	3
Количество смен в сутки	3
Производство в сутки, т	9

Таблица 35 – Затраты на плату труда рабочих

Персонал	Численность, чел	Отчисления на заработную плату в месяц, руб	Отчисления на заработную плату в год, руб
Мастер	3	90 000	1 080 000
Рабочие	15	300 000	3 600 000
Внебюджетные фонды	30 %		1 404 000
Итого			6 084 000



Таблица 36 – Расход и себестоимость затрат на материалы контрольного образца для 1м<sup>2</sup> поверхности толщиной 10 мм без учета потерь с гипсовым вяжущим

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1м <sup>2</sup>	Цена (с учетом НДС), руб.	Стоимость (с учетом НДС), руб.
Цементное вяжущее	кг	13,6	54	734,4
Вода	м <sup>3</sup>	0,00765	20	0,153
Песок	кг	27,2	1,05	28,56
Итого				763,113

Таблица 37 – Расход и себестоимость затрат на материалы контрольного образца для 1м<sup>2</sup> поверхности толщиной 10 мм без учета потерь с цементным вяжущим с использованием перлитового наполнителя

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1м <sup>3</sup>	Цена (с учетом НДС), руб.	Стоимость (с учетом НДС), руб.
Цементное вяжущее	кг	13,6	54	734,4
Песок	кг	27,2	1,05	28,56
Перлитовый песок	кг	20,4	39	795,6
Вода	м <sup>3</sup>	0,00765	20	0,153
Итого				1 558,7

Таблица 38 – Затраты на оборудование и амортизацию цементного вяжущего

Электроэнергия оборудования для производства вяжущего	Цена, млн. руб.	Количество, шт.	Стоимость, млн. руб.	Амортизация	
				% в год	тыс. руб. в год
Помольно-сушильный агрегат с мельницей	1,2	1	1,2	20	240
Дозатор	0,1	1	0,1	20	20
Шнековый транспортер	0,08	3	0,24	20	48
Генератор горячего газа	0,1	1	0,1	20	20
ИТОГО			2,04		408

Таблица 39 – Затраты на оборудование и амортизацию цементно-перлитовой смеси вяжущего

Электроэнергия оборудования для производства вяжущего	Цена, млн. руб.	Количество, шт.	Стоимость, млн. руб.	Амортизация	
				% в год	тыс. руб. в год
Помольно-сушильный агрегат с мельницей	1,2	1	1,2	20	240
Дозатор	0,1	1	0,1	20	20
Шнековый транспортер	0,08	4	0,32	20	64
Генератор горячего газа	0,1	1	0,1	20	20
Смеситель	0,15	1	0,15	20	30
ИТОГО		2,27			454

Таблица 40 – Потребление электроэнергии при производстве гипсового вяжущего

Электроэнергия оборудования для производства вяжущего	Мощность	Цементное вяжущее			
		Количество штук	Количество часов	кВт*ч	Руб.
Помольно-сушильный агрегат с мельницей	2500	1	24	60 000	100 200
Дозатор	0,2	1	12	2,4	4,01
Шнековый транспортер	5,3	3	12	190,8	318,636
Генератор горячего газа	70	1	24	1680	2805,6
Освещение	0,1	30	24	72	120,24
ИТОГО					109861,28

Таблица 41 – Потребление электроэнергии при производстве цементного вяжущего с добавлением перлита

Электроэнергия оборудования для производства вяжущего	Мощность	Цементно-перлитовая смесь			
		Количество штук	Количество часов	кВт*ч	Руб.
Помольно-сушильный агрегат с мельницей	2500	1	18	45 000	75 150
Дозатор	0,2	1	9	1,8	3,01
Шнековый транспортер	5,3	4	9	190,8	318,64
Генератор горячего газа	70	1	18	1260	1,402
Смеситель	11	1	8	88	146,96
Освещение	0,1	30	24	72	120,24
<b>ИТОГО</b>					<b>80549,85</b>

Таблица 42 – Сводная таблица затрат

	Затраты на материалы	Затраты на оборудование	Затраты на амортизацию	Затраты на электроэнергию	Затраты на оплату труда рабочим	ИТОГО
Цементное вяжущее	763,113	2 040 000	408 000	109 861,28	6084000	8642624
Цементно-перлитовая смесь	1 558,7	2 270 000	454 000	80 549,85	6084000	8890108

**Выводы по разделу пять**

После подсчета экономической эффективности можно увидеть, что на производство 1 м<sup>3</sup> цементно-перлитовой смеси общие затраты возросли на 247 484 руб. несмотря на повышение затрат основной эффект будет достигнут за счет повышения теплоизоляционной эффективности здания, так как снижаются затраты на отопление контура здания и снижаются энергозатраты на тепловые приборы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) По результатам проведенных испытаний выявлено, что самым прочным из составов на одной фракции перлита на изгиб и на сжатие является состав № 3

2) По результатам проведенных испытаний выявлено, что самым прочным из составов, где использовались различные фракции перлита на изгиб и на сжатие является состав № 4.

3) Уменьшение процентного содержания среднего перлита и увеличение крупного приводит к повышению предела прочности при сжатии. Это связано с термоударным воздействием на перлитовую породу. При котором образуется глянцевый (оплавленный) припоровый слой. Формирование глянцевой поверхности пор в ячеистых материалах существенно повышает прочность поризованной системы. За счет более длительного обжига при получении крупной фракции происходит образование оплавленного припорового слоя. В среднем перлите остается напряженное состояние, приводящее к разрушению сферических частиц заполнителя в готовом изделии в период испытания на прочность.

4) Оплавленный припоровый слой также образуется и в мелком перлите, но уже за счет резкого кратковременного воздействия на сырье. Поэтому, при равном процентном содержании крупного и мелкого перлита прочность бетона максимальная, а межзерновая пустотность минимальна. При этом при замене части одной фракции другой происходит снижение прочности. Возможно, это связано с повышением межзерновой пустотности, снижающей прочность бетона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Байков, А.А. Труды в области вяжущих веществ и огнеупорных материалов / А.А. Байков. – М.: Изд-во АН СССР, 1948. – 272 с.
2. Борщевский, А.А., Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий А.А. Борщевский, А.С. Ильин. – М.: Высшая школа, 1987. – 368 с.
3. Бутт, Ю.М. Портландцемент / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: Изд-во Стройиздат, 1974. – 341 с.
4. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов: учебник для вузов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
5. Волженский, А.В. Гипсовые вяжущие и изделия / А.В. Волженский, А.В. Ферронская. – М.: Изд-во Стройиздат, 1974. – 328 с.
6. Воробейник, Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейник, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Изд-во Наука, 1994 – 26 с.
7. Гаркави, М.С. Термодинамический анализ структурных превращений в вяжущих системах / М.С. Гаркави. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2005. – 243 с.
8. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение): справочник / Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Изд-во АСВ. 2004. – 488 с.
9. ГОСТ 10832-2009 Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2011 – 18 с.
10. ГОСТ 10832-64 Перлит вспученный. – М.: Изд-во стандартов, 2011 – 403 с.
11. ГОСТ 10832-91 Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
12. ГОСТ 13015-2012 Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. – М.: Изд-во стандартов, 2019. – 41 с.

13. ГОСТ 22023-76 Материалы строительные. Метод микроскопического количественного анализа структуры. – М.: Изд-во стандартов, 2020 – 11 с.

14. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 12 с.

15. ГОСТ 24211-2008. Межгосударственный стандарт. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 12 с.

16. ГОСТ 25226-82 Сырье перлитовое для производства вспученного перлита. Технические условия – М.: Изд-во стандартов, 2020. – 12 с.

17. ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. – М.: Изд-во стандартов, 2019. – 8 с.

18. ГОСТ 32021-2012. Заполнители и наполнители из плотных горных пород для производства сухих строительных смесей. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 10 с.

19. ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 31 с.

20. Коровяков, В.Ф. Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве / В.Ф. Коровяков – Российский химический журнал. – 2003. – 25 с.

21. Кузнецов, А.М. Технология вяжущих веществ и изделий из них: учебник для студентов вузов / А.М. Кузнецов. – М.: Изд-во Высшая школа, 1963. – 456 с.

22. Лесовик, В.С Гипсовые вяжущие материалы и изделия: учеб. пособие / В.С. Лесовик, С.А. Погорелов, В.В. Строкова. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. – 224 с.

23. Лесовик, В.С. Закон сродства структур в материаловедении / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, И.Л. Чулкова. – Фундаментальные исследования. – 2014. – №3-2. – С.267-271.

24. Лесовик, В.С. Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород / В.С. Лесовик, С-А.Ю. Муртазаев,

М.С. Сайдумов – Грозный: Изд-во ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2012. – 192 с.

25. Правила техники безопасности и производственной санитарии в производстве сборных железобетонных и бетонных конструкций и изделий. – М.: Стройиздат, 1988. – 128 с.

26. Рахимов, Р.З. Композиционные гипсовые вяжущие с использованием керамзитовой пыли и доменных шлаков / Р.З. Рахимов, М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин – Строительные материалы, 2012. – 16 с.

27. Сагдатуллин, Д.Г. Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов / Д.Г. Сагдатуллин, Н.Н. Морозова, В.Г. Хозин – Известия КазГАСУ, 2009. – 268 с.

28. Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учеб. для вузов / Л.М. Сулименко – М.: Высш. шк., 2005. – 334 с.

29. Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учеб. для вузов / Л.М. Сулименко – М.: Высш. шк., 2005. – 334 с.

30. Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учебное пособие / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, У.Х. Магдеев. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 350 с.

31. Чаус, К.В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций / К.В. Чаус, Ю.Д. Чистов, Ю.В. Лабзина. – М.: Изд-во Стройиздат 1988.

32. Шленкина, С.С. Влияние пластификаторов на твердение гипсового вяжущего / С.С. Шленкина, М.С. Гаркави, Р. Нова. – Строительные материалы, 2007. – 62 с.