

Министерство науки и высшего образования РФ
Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

ВКР ПРОВЕРЕНА	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Рецензент	Заведующий кафедрой
/ /	/А.А. Орлов/
« » 2019 г.	« » 2019 г.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе
08.03.01.2019.00.00.ПЗ
Оценка влияния качества сырьевых материалов на свойства бетонных
смесей и бетона для лестничных маршей.

Руководитель ВКР

/ М.Д. Бутакова /
« » 2019 г.

Автор ВКР
Студент группы АС –

/ И.А. Кунгурцев /
« » 2019 г.

Нормоконтролёр

/А.А. Кирсанова/
« » 2019 г.

Челябинск
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	9
1.1 Сырье для приготовления бетонной смеси.....	10
1.1.1 Вяжущее вещество	10
1.1.2 Заполнители	13
1.1.3 Добавки.....	28
1.2 Этапы развития пластифицирующих добавок.....	32
1.3 Классификация добавок-суперпластификаторов	33
1.4 Механизм действия добавок-суперпластификаторов	33
1.5 Строение суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов и их характеристика.....	36
1.6 Технология изготовления.....	38
1.6.1 Технологическая схема производства ЛМ.....	39
1.6.2 Приготовление бетонной смеси	40
1.6.3 Армирование ЖБИ	44
1.6.4 Формование	44
1.6.5 Твердение	45
1.6.6 Обработка поверхности	45
1.7 Номенклатура продукции и требования нормативной документации.....	45
1.7.1 Конструкция маршей	45
1.7.2 Основные размеры лестничных маршей.....	46
1.7.3 Требования к качеству поверхностей и внешнему виду лестничных маршей.....	48
1.7.4 Правила приемки лестничных маршей	48
1.7.5 Хранение, маркировка и транспортировка изделий	48
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ. ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ	50

2 СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	51
2.1 Требования к сырью	51
2.1.1 Технические требования к портландцементу	51
2.1.2 Требования к заполнителям бетонной смеси	52
2.1.3 Требования к арматуре.....	53
2.1.4 Требования к воде затворения	53
2.2 Методы исследования	54
2.2.1 Определение насыпной плотности песка и расчет его пустотности	55
2.2.2 Определение зернового состава песка и его модуля крупности.....	56
2.2.3 Определение насыпной плотности щебня и подсчет его пустотности	56
2.2.4 Определение зернового состава щебня.....	57
2.2.5 Определение подвижности бетонной смеси.....	57
2.2.6 Испытание образцов на прочность	58
2.2.7 Определение нормальной густоты цементного теста.....	59
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	61
3.1 Подбор компонентов составов для бетонных смесей.....	61
3.2 Описание экспериментов	61
3.2.1 Бетонная смесь на исходном сырье	61
3.2.2 Бетонная смесь с соотношением цемента и золы 80:20 %.	66
3.2.3 Бетонная смесь с соотношением цемента и золы 50:50 %.	69
3.2.4 Бетонная смесь с применением щебня с соотношением количества фракций 60:40 %	71
3.2.5 Бетонная смесь с применением песка, в котором фракция 0,315.....	73
была заменена фракцией 0,63.....	73
3.2.6 Бетонная смесь с применением щебня и песка из пунктов 3.2.4 и 3.2.5.	75

3.3 Результаты экспериментов.....	76
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	82
4.1 Расчет состава бетона	82
4.1.1 Определение В/Ц.....	83
4.1.2 Определение расхода воды.....	83
4.1.3 Определение расхода цемента	83
4.1.4 Определение расхода заполнителей.....	84
4.1.5 Расход золы–унос	84
4.1.6 Расход добавки СП–3.....	84
4.2 Сравнение стоимости состава бетонной смеси для лестничных маршей и предложенного состава	84
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	86
5.1 Вредные и опасные производственные факторы	88
5.2 Нормативные значения факторов рабочей среды	89
5.2.1 Микроклимат рабочей зоны	89
5.2.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны.....	90
5.2.3 Освещение рабочей зоны.....	91
5.2.4 Шум на рабочем месте.....	91
5.2.5 Вибрация на рабочем месте.....	92
5.3 Безопасность производственных процессов и оборудования....	95
5.4 Электробезопасность.....	97
5.5 Пожаробезопасность.....	98
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	99
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	101

ВВЕДЕНИЕ

Сборные железобетонные изделия и конструкции являются базой современной строительной индустрии. Их применяют в промышленном, гражданском, сельскохозяйственном, энергетическом строительстве, в горной промышленности и т. д.

Такое широкое распространение железобетон получил вследствие многих его положительных свойств: долговечности, огнестойкости, стойкости против атмосферных воздействий, высокой сопротивляемости статическим и динамическим нагрузкам, малых эксплуатационных расходов на содержание зданий и сооружений и др.

В данной дипломной работе мы рассмотрели влияние качества сырьевых материалов на свойства бетонных смесей и бетона для таких изделий, как лестничные марши.

Лестничные марши – железобетонные плиты, имеющие уклон и ступенчатую поверхность. Они представляют собой готовое ЖБИ стандартных размеров. Их основными конструктивными элементами являются ступени, тетивы и косоуры. Вид марша определяется количеством ступеней и может включать от 3 до 18, а минимальная ширина ступени составляет 90 см.

Лестничные марши имеют широкую сферу применения. Они выдерживают суровые условия погоды, агрессивные воздействия окружающей среды.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Лестничные марши позволяют подниматься на верхние этажи многоэтажных зданий. Их монтаж производится совместно с лестничными площадками. Они изготавливаются из тяжелых и легких марок бетонов. Внутри лестничных маршей находятся стальные стержни и арматурная проволока. Эти элементы защищают конструкцию от образования трещин и возможного разрушения, а бетон в свою очередь защищает арматуру от коррозии.

Лестничные марши должны отвечать следующим требованиям:

- длительный срок использования;
- устойчивость к факторам окружающей среды;
- морозостойкость;
- устойчивость к перепадам температур;
- надежность и прочность;
- водонепроницаемость;
- стойкость к внешним механическим нагрузкам и повреждениям.

По этим причинам они являются универсальной конструкцией, используемой:

- при малоэтажном строительстве;
- в многоэтажных зданиях и сооружениях;
- для зданий и сооружений промышленного и жилого назначения;
- на отапливаемых и неотапливаемых строительных объектах.

Железобетонные лестничные марши нашли широкое применение в строительстве частных домов. Развитие современных технологий и инновационные методы производства дали возможность изготавливать бетонные изделия любых форм и размеров.

Практически невозможно найти здание или сооружение, которое не оборудовано лестничным маршем. Даже одноэтажные здания, с высоким цоколем, имеют крыльцо, которое включает в себя лестничный марш. Минимально допустимое количество ступеней в лестничной конструкции

составляет не менее трех штук. Это позволяет использовать железобетонные изделия для обеспечения удобного доступа к входу в здание.

В многоэтажных сооружениях железобетонные лестничные марши монтируются снизу вверх в помещении подъезда. По месту установки их подразделяют на типы:

1. Межэтажные – соединяются лестничными площадками и располагаются по всей высоте здания.

2. Чердачные – дают доступ к помещениям технического плана.

3. Подвальные марши – позволяют попасть в подвальную часть здания.

4. Цокольные – ведут к входной группе здания или сооружения.

Практичность и невысокая стоимость – основные критерии, благодаря которым лестничные марши устанавливают практически во всех зданиях, независимо от их предназначения.

1.1 Сырье для приготовления бетонной смеси

1.1.1 Вяжущее вещество

В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси обычно используется портландцемент. Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с гипсом, иногда со специализированными добавками. Клинкер получают обжигом до спекания (температура достигает 1450 °С) тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, которая состоит из известняка и глины (иногда с корректирующими добавками). При обжиге обеспечивается преимущественное содержание высокоосновных силикатов кальция ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Также, в состав клинкера входят алюмоферритная и алюминатная фазы, клинкерное стекло. Сложный минералогический состав обеспечивает цементу следующее сочетание свойств: высокие показатели прочности, водостойкости, морозостойкости и др. Портландцемент является наиболее распространенным видом вяжущего, применяемым в строительстве. В настоящее время заводами выпускается портландцемент

преимущественно высокой активности (М300-700) и повышенной скорости твердения в ранние сроки. Активность портландцемента, а также скорость роста его прочности в ранние сроки зависят в основном от минералогического состава клинкера, тонкости помола и количества вводимых при помоле добавок (например, с увеличением удельной поверхности цемента с 2500-3000 до 4000-5000 см²/г скорость нарастания прочности в ранние сроки повышается в 1,5—2 раза).

На заводах сборного железобетона следует стремиться к применению высокомарочных и быстротвердеющих цементов, так как это позволяет сократить время изготовления изделий, уменьшить расход вяжущего и таким образом снизить себестоимость готовой продукции. Только при автоклавной обработке изделий следует использовать цементы низкой активности, а также цементы с увеличенным количеством двухкальциевого силиката (C₂S).

Основные фазы портландцементного клинкера:

Алит

Является наиболее важной составляющей всех обычных цементных клинкеров. Его содержание доходит до 50–70 %. Алитом называется трехкальциевый силикат, 3CaOSiO_2 (C₃S), его состав и структура модифицированы за счет размещения в решетке чужеродных ионов, в большинстве случаев это Mg²⁺, Al³⁺ и Fe³⁺. Алит достаточно быстро реагирует с водой и в нормальных цементах именно алит из всех фаз больше всего влияет на прочность. Для 28-суточной прочности вклад этой фазы особенно важен.

Белит

В нормальных цементных клинкерах содержится от 15 до 30 % белит. Он представляет собой двукальциевый силикат 2CaOSiO_2 (C₂S), модификация которого производится введением в структуру инородных ионов и обычно полностью или в большей части присутствует в виде β-модификации. Белит медленно реагирует с водой, что слабо влияет на прочность в течение первых 28 суток, но значительно увеличивает прочность

в более поздние сроки. Через год чистый алит и чистый белит имеют приблизительно одинаковые показатели прочности в сравнимых условиях.

Алюминатная фаза

Содержание алюминатной фазы составляет 5–10 % для большинства нормальных цементных клинкеров. Она представляет собой трехкальциевый алюминат $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, существенно измененный по составу, а иногда и по структуре, за счет инородных ионов, в большей степени Si^{4+} , Fe^{3+} , Na^+ и K^+ . Алюминатная фаза быстро реагирует с водой и может вызвать быстрое схватывание, в случае если не добавлен контролирующий схватывание реагент, как правило таким реагентом является – гипс.

Ферритная фаза

Ферритная фаза (CaAlFe) содержится в количестве от 5 до 15 % в обычном цементном клинкере. Это — четырехкальциевый алюмоферрит $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$, состав которого разительно меняется при изменении соотношения Al/Fe и размещении в структуре инородных ионов. Показатели скорости, с которой ферритная фаза реагирует с водой, могут меняться из-за различий в составе или других характеристиках, но, как правило, она высока в начале и стоит между значениями скоростей взаимодействия с водой алита и белита в более поздние сроки.

В клинкере также могут присутствовать в небольших содержаниях и другие фазы, такие как щелочные сульфаты и оксид кальция.

Суть изготовления любого бетона заключается в заполнении пустот между частицами наполнителя клеевой массой. Для бетонов, изготовленных с применением портландцемента клеевой массой является цементное тесто. В процессе заполнения пустот консистенция бетона меняется от влажной до текучей. На конечную прочность бетона влияет, и собственная прочность наполнителей, и прочность «клея» – созревшего цементного камня. Прочность цементного камня очень сильно зависит от соотношения между массой цемента (Ц) и воды (В) в составе цементного теста. Оптимальное значение – $\text{Ц/В} = 2,5\text{--}3,3$ ($\text{В/Ц} = 0,4\text{--}0,3$).

Прочность цементного клея напрямую зависит от водоцементного отношения. Вдобавок к этому, от содержания воды в цементном тесте зависит и величина усадочных напряжений, так как излишнее количество воды, испаряясь, создает пустоты в цементном камне.

Таблица 1 – Расход цемента в зависимости от насыпной плотности песка

Насыпная плотность сухого песка, кг/м ³	Пустотность, м ³	Объем теста, л	Масса теста, кг	Масса цемента, кг	Расход цемента на 1м ³ , кг
1350	0,50	500	950	679	713
1450	0,46	460	874	624	655
1550	0,43	430	817	584	613
1650	0,39	390	741	529	555

1.1.2 Заполнители

Заполнители для бетонов – это искусственные или природные материалы, имеющие определенный зерновой состав. Они представляют собой инертные гранулированные материалы, такие как песок, гравий или щебень, которые стоят в одном ряду с водой и портландцементом, являясь важными компонентами бетона. Заполнители в составе бетонной смеси занимают до 80% объема. Их применение позволяет в значительной степени сократить использование вяжущих веществ.

Заполнители занимают большую часть объема бетона. Их размер, градация, форма и текстура поверхности оказывают существенное влияние как на свойства бетонной смеси, так и затвердевшего бетона. Отсутствие количественного определения формы частиц заполнителя и текстуры поверхности часто приводит к противоречивым результатам и требованиям количества испытаний для достижения желаемых свойств бетона.

При добавлении в цементное тесто, заполнители позволяют создать необходимую жесткость, воспринимают на себя возникающие при усадке напряжения и дают меньшую общую усадку готового бетона по сравнению с

цементным камнем. Кроме того, добавление заполнителей позволяет повысить прочность и упругость бетона и уменьшить ползучесть при нагрузке.

Современные представления о влиянии качества заполнителей на структуру бетонов, его свойствах и возможностях их регулирования в требуемых направлениях развивались в исследованиях известных ученых И.Н. Ахвердова, В.В. Бабкова, В.И. Бабушкина, Ю.М. Баженова, Г.И. Горчакова, Е.А. Гузеева, В.С. Данюшевского и многих других. Свойства бетонов в достаточной мере зависят от свойств заполнителей, что объясняет повышенные требования к их качественным характеристикам. Изменения в процессе образования структуры бетонов и их смесей в том числе происходят из-за наличия загрязняющих примесей (частичек пыли, глины, и ила). В нормативной документации, регламентирующей качественные показатели применяемых заполнителей для бетонов различного назначения, установлены допустимые значения содержания загрязняющих примесей, так как их наличие в значительной степени ухудшает адгезию между цементным камнем и заполнителем [12, с. 34].

Вообще содержание примесей в виде пылевидных, илистых и глинистых частиц в бетонной смеси может варьироваться в весьма широком диапазоне в зависимости от количества в смеси песка и щебня, что, безусловно, отразится на свойствах бетонных смесей и бетонов. Однако еще в 1928 г. Р. Залигер отмечал, что трудно предъявить исчерпывающие требования к материалам, необходимым для производства бетона. Примесные частицы ила, глины и аналогичные им снижают прочность бетона в особенности, если они контактируют с поверхностью частиц мелкого и крупного заполнителя. В случае равномерного распределения этих примесей в массе песка и отсутствия сцепления с зернами их наличие не вредит качеству бетонов и даже при общеизвестных обстоятельствах повышает прочность. Ю.М. Баженов [13], В.Г. Батраков [14] и другие ученые – исследователи [15] полагали, что совокупность примесей, «грязнящих»

песок, не может полностью охарактеризовать его качество. Вполне допустима вероятность того, что 3–5% примесей одного состава могут быть многократно вреднее, чем 10–15% примесей другого состава. Из практики известно, что добавление к цементу глины или глинистых горных пород практически не оказывает влияния на его качество. Общеизвестно, что ранее при изготовлении строительных материалов и изделий различного назначения использовались грунто–бетонные смеси или песчано–грунто–цементные смеси, в которых содержание глинистых и илистых веществ доходило до 40–45%.

В своей статье Курбатов В. Л. приводит результаты экспериментов влияния загрязняющих примесей на свойства бетонной смеси. Целью его экспериментов являлось – выявление особенностей влияния на свойства бетонной смеси заполнителей, содержащих мелкодисперсные загрязняющие примеси. В результате, в бесщебеночных бетонных смесях максимальный разжижающий эффект дает наличие в составе смеси тонкодисперсных загрязняющих примесей.

Проводя анализ фракционного состава тонкодисперсных фракций загрязняющих примесей заполнителей, Курбатов В. Л. установил, что примеси, содержащие большее количество фракций размером более 0,01 мм, оказывают пластифицирующее действие, а понижают удобоукладываемость смесей примеси, содержащие большее количество фракций размером менее 0,01 мм. При введении тонкодисперсных загрязняющих примесей в тяжелую бетонную смесь их удобоукладываемость, оцениваемая по осадке конуса (ОК), ухудшается, однако примеси различного зернового состава по–разному влияют на изменение осадки конуса.

Крупные заполнители

В качестве крупного заполнителя применяют природные и искусственные каменные материалы размерами кусков 3(5)–70 мм. Наиболее распространенными крупными заполнителями являются гравий и щебень изверженных, плотных осадочных и метаморфических горных пород. Реже

применяют искусственные заполнители (нераспадающиеся доменные шлаки и другие материалы). Качество заполнителей оказывает большое влияние на прочность и стойкость бетонов.

Гравий образуется в результате естественного разрушения (выветривания) плотных горных пород и состоит в основном из кусков окатанной формы. По крупности зерен гравий делят на следующие фракции: 3(5)–10; 10–20; 20–40 и 40–70 мм.

По зерновому составу и содержанию примесей гравий часто не удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, поэтому его обогащают рассеиванием на отдельные фракции и промывают на специальных установках, располагаемых в карьерах. Количество зерен с размерами, выходящими за предельные размеры фракции, не должно быть более 5%, а полусумма полных остатков на ситах с d_{\max} и d_{\min} составляет 40–70% (по массе).

Гравий образуется в результате распада разнообразных горных пород, имеющих неодинаковый минералогический состав и плотность, поэтому отдельные зерна гравия могут иметь неодинаковую прочность, а также различную форму. Прочность отдельных зерен гравия, их форма, а также загрязненность вредными примесями существенно влияют на прочность бетона. Пригодность гравия для изготовления железобетонных конструкций определяется петрографическим составом с указанием количественного содержания зерен слабых пород, а также показателем дробимости при сжатии (раздавливании) в стандартном цилиндре. Количество зерен из слабых пород допускается не более 10% (по массе).

Гравий не должен содержать также более 15% по массе зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы (толщиной и шириной менее длины в 3 и более раза), отрицательно влияющих на прочность бетона. Содержание отмучиваемых примесей не должно превышать 1% по массе, так как они покрывают тонкой пленкой поверхность кусков и ухудшают сцепление последних с цементно-песчаным раствором. Допустимое

содержание органических примесей определяется тем же методом, что и для мелкого заполнителя (колориметрическая проба). Для бетонов конструкций, подвергающихся увлажнению и замораживанию, применяют гравий определенной степени морозостойкости, неодинаковой для различных климатических условий и условий увлажнения конструкций.

Щебнем называют материал, получаемый путем измельчения (дробления) крупных кусков различных горных пород или искусственных камней (доменных отвальных или специально отлитых шлаков). Полученные смеси зерен различных размеров отсеивают на отдельные фракции. Щебень отличается от гравия остроугольной формой и шероховатой поверхностью зерен, в связи, с чем сцепление щебня с цементно-песчаным раствором больше, чем у гравия. Содержание в щебне вредных органических примесей незначительно.

Щебень из естественного камня характеризуется прочностью исходной горной породы при сжатии, истираемостью в помолочном барабане и сопротивлением удару при испытании на копре ПМ. По прочности исходных материалов при сжатии в насыщенном водой состоянии в зависимости от вида пород (изверженных, метаморфических, осадочных) щебень делят на семь марок от 200 до 1200. Форма зерен щебня – угловатая и имеет более шероховатую поверхность по сравнению с зернами гравия. Именно этот фактор является определяющим в сцеплении зерен гравия и щебня с цементным камнем. Благодаря своей форме, щебень лучше с ним сцепляется.

Основной характеристикой зернового состава крупного заполнителя является наибольшая и наименьшая крупность зерен. Наибольшая крупность заполнителя должна соотноситься с размерами бетонируемой конструкции и расстоянию между стержнями арматуры. Чтобы заполнитель при бетонировании равномерно располагался в объеме конструкции, его наибольшую крупность выбирают с учетом вида и размеров конструкции и густоты армирования. Щебень или гравий должен иметь несколько фракций. Обычно используют от двух до трех фракций. По крупности зерен щебень и

гравий делится на следующие фракции: 5–10; 10–20; 20–40; 40–70 миллиметров. Зерновой состав каждой фракции заполнителя или смеси фракций выбирают так, чтобы обеспечивалась минимальная межзерновая пустотность, что приводит к уменьшению расхода цемента.

Если крупный заполнитель используется в тяжелом бетоне, то для него нормируется прочность, но во всех случаях прочность заполнителя должна быть выше прочности бетона в 1,5–2 раза. То же относится и к требованиям по морозостойкости заполнителя. Поэтому для высококачественных тяжелых бетонов применяются щебни из базальта, гранита и плотных известняков.

Крупные заполнители не должны содержать вредных примесей. Таковыми могут являться глинистые, органические и пылеватые частицы. Определение содержания таких частиц производят путем отмучивания или пипеточным методом. Количество глинистых и пылевидных частиц в щебне, определяемых отмучиванием, не должно превышать в зависимости от марки бетона и вида исходной породы 1–3% по массе.

Требования к зерновому составу, морозостойкости, содержанию зерен слабых пород, а также зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы такие же, как и для гравия. Допустимое количество включений рудных минералов, аморфных разновидностей кремнезема, а также сернокислых и сернистых соединений как для щебня, так и для гравия определяется специальными исследованиями с учетом условий эксплуатации сооружений.

Прочность щебня из доменных шлаков должна обеспечивать возможность получения бетона требуемой марки. Кроме того, шлак должен быть устойчив против распада и обладать в нужных случаях достаточной степенью морозостойкости.

Зерновой состав крупного заполнителя оказывает заметное влияние на водопотребность бетонных смесей и, следовательно, косвенно влияет на прочность бетона. Объем пустот в крупном заполнителе должен быть возможно меньшим, так как при этом снижается потребность в цементно-песчаном растворе. Это может быть достигнуто содержанием в смеси гравия

(щебня) зерен различного размера. Наибольшая величина зерен крупного заполнителя ограничивается размерами бетонных и железобетонных конструкций и насыщенностью их арматурой.

При выборе крупного заполнителя следует учитывать, что гравий встречается в природных условиях почти в готовом виде и требует только отсева и дробления отдельных крупных кусков. Процесс же получения щебня очень трудоемок и сложен, поэтому стоимость его значительно выше гравия. Кроме того, бетонные смеси на гравии по сравнению со смесями на щебне обладают большей подвижностью и меньшей водопотребностью, что объясняется меньшим трением между гладкой поверхностью зерен и цементным раствором. Однако сцепление гравия с цементно-песчаным раствором меньше, чем у щебня, и гравий более загрязнен, чем щебень. Поэтому в большинстве случаев прочность щебеночного бетона больше прочности гравийного примерно на 20–30%.

Выбор заполнителей следует производить на основе результатов испытаний их непосредственно в бетоне, подтверждающих возможность получения требуемой марки бетона без перерасхода цемента и технико-экономических сравнений.

Мелкие заполнители

Мелким заполнителем для бетонов в большинстве случаев является песок. Песок может быть природным или искусственным. Природный песок – это рыхлая обломочная порода, образованная в результате естественного разрушения (воздействия ветра) скальных горных пород, например гранита.

По минеральному составу пески делятся на:

- кварцевые пески;
- полевошпатные;
- карбонатные.

Песок характеризуется следующими паспортными характеристиками:

- модуль крупности;
- насыпная плотность;

– содержание глинистых и пылевидных частиц.

Вспомогательным параметром, для дальнейших объяснений, является собственная плотность песка.

На заводы сборного железобетона при наличии емкостей для хранения песок должен поставляться рассеянным на крупную и мелкую фракции с помощью контрольных сит с размерами отверстий: 1,25 мм и более — для крупных песков и 1,25 или 0,63 мм и менее – для мелких. В качестве мелкой части фракционированного песка можно использовать природные средние, мелкие и очень мелкие пески. Зерновой состав крупной и мелкой частей фракционированного песка должен обеспечивать получение качественного бетона без перерасхода цемента.

Объемная масса песка зависит от его пустотности, степени влажности и плотности (удельного веса). Обычно объемная масса песка колеблется от 1500 до 1600 кг/м³.

С повышением влажности песка до 5–7% объем его резко увеличивается. При дальнейшем увеличении влажности объем постепенно уменьшается и при влажности 20 % равен объему сухого песка. Поэтому при приемке и отпуске песка, а также при дозировании воды в бетоносмесительных цехах необходимо систематически учитывать колебания влажности и происходящие при этом изменения объема песка.

Большое влияние на качество бетона оказывают глинистые, органические и другие примеси, встречающиеся в песке. Глинистые, илистые и пылевидные примеси повышают водопотребность бетонных смесей, вследствие чего снижается прочность бетона. Глинистые примеси, обволакивая тонким слоем зерна песка, ухудшают сцепление последних с цементным камнем. Содержание отмучиваемых примесей не должно превышать 3% для природного песка и 5% – для дробленого. Уменьшение количества примесей может быть достигнуто промывкой песка водой в специальных машинах – пескомойках.

Сернистые и сернокислые соединения (гипс, серный колчедан и др.) вызывают постепенное разрушение цементного камня, а частицы слюды, вследствие их плохого сцепления с цементным камнем и невысокой прочности, уменьшают прочность бетона и понижают его морозостойкость. Допустимое количество примесей слюды и минералов, содержащих серу, устанавливается испытанием песка в бетоне.

К качеству заполнителей для растворов выше М50 в большинстве случаев предъявляют те же требования, что и к песку для обычных бетонов.

Кварцевые пески имеют лучшее качество. Они чаще всего применяются при изготовлении бетонов и строительных растворов. По условиям образования существуют морские, речные и овражные (горные) пески. Зерна морских и речных песков в основном имеют окатанную форму и гладкую поверхность, так как подвергаются истиранию при переносе водой. У овражных и горных песков зерна в большинстве случаев имеют угловатую форму. В таких песках содержится большое количество глинистых и органических примесей. В морских песках могут присутствовать обломки раковин, наличие которых приводят к снижению прочности бетона, так как они могут легко разрушаться.

Руководствуясь, ГОСТ 8736–2014, содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также комковой глины не должно превышать значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание пылевидных и глинистых частиц, комковой глины в песках

Класс песка	Группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	Содержание глины в комках
I	Повышенной крупности, крупный	2	0,25
	и средний Мелкий	3	0,35

Окончание таблицы 2

Класс песка	Группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	Содержание глины в комках
II	Повышенной крупности, крупный и средний	3	0,5
	Мелкий и очень мелкий	5	0,5
	Тонкий и очень тонкий	10	1,0
Примечание - Содержание пылевидных и глинистых частиц в очень мелком песке класса II по согласованию с потребителем допускается до 7% по массе.			

Искусственный песок получают дроблением твердых горных пород, либо некоторых попутных продуктов промышленности или отходов, например металлургических шлаков.

Роль мелкого заполнителя в формировании структуры искусственного конгломерата особенно проявляется в тощих составах. Когда на прочность искусственного камня оказывает влияние зерновой состав заполнителя, определяющий плотность укладки зерен и число контактов их друг с другом в монолите. Мелкие пески имеют в единице объема большое количество контактов, чем крупнее пески, то каждое зерно в них скрепляется с другими меньшим числом связей. В результате чего структура получается менее прочной и жесткой.

Качество песка, который используется для изготовления бетона, характеризуется минеральным составом (кварц, полевой шпат, кальцит, слюда и др.), смесью фракций (песок крупной, средней и мелкой фракции) и наличием в нем вредных примесей.

Мелкий заполнитель включает в себя зерна разного размера. Зерна меньшего размера должны располагаться в пустотах между крупными зернами заполнителя, тем самым, уменьшая объем пустот и повышая прочность бетона.

Наличие мелких частиц (пыль, ил, глина) повышает расход воды в бетонной смеси и цемента в бетоне. Таким образом, содержание в песке зерен размером меньше 0,16 миллиметров, должно быть не более 10% по массе, количество пылевидных, илистых и глинистых частиц не должно быть более 3%. При взаимодействии с водой глина набухает и увеличивается в объеме при замерзании, что приводит к снижению морозостойкости.

Рассмотрим эксперименты, осуществленные инженером И. Сомовичем в 1890 году. Производя опыты на трех разных песках (искусственном гранитном, местном известняковом и нормальном петербургском) и на стеклянном песке–бисере при одной и той же пластичности-жесткости смесей, он установил, что наибольшую прочность показали образцы на местном песке. Следовательно, на прочность образцов оказывает влияние количество цемента, а не особенность песка (его минералогия, форма зерен, состояние поверхности зерен), т. е. ведущим фактором является зерновой состав, обуславливающий пустотность песка или количество цемента для заполнения пустот в скелете.

Увеличение модуля крупности песка путем отсеивания мелкой фракции привело к увеличению прочности при сжатии раствора в возрасте 28 суток:

- при модуле крупности 1,33 на 4,9 %,
- при модуле крупности 1,87 на 6,6 %,
- при модуле крупности 2,4 на 8,6 %,
- при модуле крупности 2,94 на 11,0 %,
- при модуле крупности 3,47 на 14,0 %.

Уменьшение модуля крупности песка путем отсеивания крупной фракции привело к снижению прочности при сжатии раствора:

- при модуле крупности 0,80 на 7,5 %,
- при модуле крупности 0,27 на 28,4 %.

Данное снижение прочности при сжатии при снижении модуля крупности песка объясняется большой удельной поверхностью мелких

частиц и, следовательно, большим необходимым расходом воды, идущем на увлажнение этих частиц. При этом при стандартной консистенции растворной смеси количество воды при уменьшении модуля крупности песка, а, следовательно, и среднего диаметра частиц, увеличивается на 38 %. Данные частицы в реакцию с водой не вступают и после твердения раствора и испарения воды, не вступившей в реакцию с портландцементом образуются поры, которые и приводят к снижению прочности [13, с. 52].

По мере уменьшения модуля крупности песка за счет увеличения количества мелких зерен прочность бетонных при испытании И. Сомовичем образцов размером 10x10x10 см систематически снижается при количестве цемента, равном 250 кг/м³, и не изменяется у образцов с содержанием цемента 400 кг/м³. Однако, у образцов размером 20x20x20 см для обоих составов бетона с расходами цемента 250 и 400 кг/м³ по мере уменьшения модуля крупности песков отмечается снижение прочности при всех сроках твердения.

Бетонные образцы с уменьшенным количеством воды (смеси состава 280:140 кг/м³) не различаются по прочности. Для объективной оценки влияния зернового состава песка на прочность бетонных образцов, отличающихся составом, размерами и технологией приготовления, И. Сомовичем были произведены контрольные опыты на двух песках — Дмитровском и Люберецком, зерновые составы которых несколько изменили за счет отсева пылевидных составляющих и ввода их в мелкий (не стандартный) Люберецкий песок.

Для бетона любого состава выявлено различие в показателях прочности. На мелкозернистом песке, с содержанием пылевидных частиц до 5%, прочность бетона на 12–15% ниже прочности бетона на среднезернистом песке без пылевидных частиц. Весьма большое значение имеет не только зерновой состав, но и наличие или отсутствие в песке пылевидных и глинистых частиц. Таким образом, влияние качества песка на свойства бетона не в полной мере отражается ГОСТом и приемами подбора состава.

К сожалению, эти лабораторные исследования не отражают действительного масштаба использования таких бетонных смесей и область их применения (номенклатуру конструкций, изделий, элементов). Необходимо учитывать, что относительно велико применение смесей с указанной пластичностью-жесткостью. Особое внимание следует обращать на пески, загрязненные органическими примесями, которые значительно снижают качество бетона.

Одним из эффективных приемов корректирования зернового состава песка является фракционирование и использование в бетонных работах песка с подобранным количеством фракций. Во многих случаях приготавливают искусственные пески нужных фракций, вводя которые корректируют зерновой состав песка. Этим приемом удастся изменять и его пустотность, что, в свою очередь, отражается на выборе показателя γ при проектировании состава бетона.

В своей диссертации Смирнов А. Г. утверждает, что заполнители естественной гранулометрии позволяют получить бетонную смесь и бетон с широким диапазоном изменения удобоукладываемости и прочности. По мере повышения жесткости бетонной смеси (при постоянном В/Ц) наблюдается увеличение прочности бетона. Так изменение удобоукладываемости приводит к повышению прочности на 5–35 %. Это увеличение прочности бетона связывается с каркасностью. Подбирая состав заполнителей с малой пустотностью, можно при сохранении удобоукладываемости бетонной смеси сократить содержание цементного теста.

Он приводит несколько примеров исследования влияния свойств заполнителей на прочность бетона от других ученых.

Так, γ -н Смирнов приводит в пример эксперименты, которые проводил Малюга И. Г., исследуя влияние межзерновой пустотности заполнителя на прочность бетона. Он экспериментально показал, что при сохранении удобоукладываемости бетонной смеси, уменьшение межзерновой пустотности приводит к увеличению прочности бетона почти в 3 раза, а при

сохранении объема цементного теста - к некоторому повышению прочности бетона и улучшению удобоукладываемости бетонной смеси.

И.Г. Малюга указывает на то, что при уменьшении содержания цементного теста пустотность будет уменьшаться до тех пор, пока зерна не придут в соприкосновение. По его мнению, это наименьшее значение пустотности должно соответствовать пустотности заполнителя в свободном состоянии.

Также, Смирнов А.Г. приводит метод, который предложил Охотин В.В. Он заключается в определении межзерновой пустотности заполнителя в сухом состоянии. В мерный сосуд помещается заполнитель наибольшей крупности, а затем в него засыпаются мелкие фракции до тех пор, пока не увеличится объем смеси. Засыпка мелких фракций заполнителя производится небольшими порциями с последующим уплотнением [10, с. 8].

В ряде работ пустотность определяется путем смешивания отдельных фракций заполнителя в сухом состоянии, их уплотнения в мерном сосуде и определения средней плотности. Уплотнение смеси проводится различными методами: постукиванием резиновым молоточком по стенкам сосуда, штыкованием, штыкованием и вибрированием, вибрированием с пригрузом и без него.

Существующими стандартами на заполнитель рекомендован способ определения межзерновой пустотности в рыхлонасыпанном состоянии. Этот способ определения МПЗ характеризует пустотность смеси при случайном распределении зерен, а значения ее завышены. По приведенным данным в работе Смирнова А.Г. МПЗ, определенная в рыхлонасыпанном состоянии почти в 1,5 раза больше, МПЗ в виброуплотненном состоянии с пригрузом, и почти в 2 раза больше пустотности в вязко-жидкой среде.

Анализ способов определения пустотности заполнителей показывает, что наиболее близким, отражающим реальное распределение зерен заполнителя в бетонной смеси является способ определения пустотности заполнителя в цементном тесте.

Гранулометрический состав заполнителей влияет на свойства бетонной смеси и бетона.

Подбор состава заполнителей для бетона проводится различными способами: по идеальным кривым распределения зернового состава, по удобоукладываемости бетонной смеси или прочности бетона.

Значительная часть исследователей предлагает определять состав по наименьшей пустотности заполнителя, указывая при этом на то, что свойства бетонной смеси и бетона улучшаются.

Межзерновая пустотность оценивается по средней плотности смеси заполнителей, которая определяется различными методами. Наиболее близким и отражающим реальное распределение зерен в бетонной смеси является способ определения пустотности заполнителей в цементном тесте.

Для подбора состава заполнителей с наименьшей межзерновой пустотностью применяются фракционированные заполнители. Соотношение смежных размеров фракций заполнителя рекомендуется принимать от 1:2 до 1:28, а содержание регулировать по наименьшей пустотности смеси.

Форма зерен влияет на межзерновую пустотность заполнителя, свойства бетонной смеси бетона.

Также, в своей диссертации Смирнов А.Г. приводит результаты исследований, которые показывают, что при уменьшении МПЗ (при равном объеме цементного теста) прочность бетона увеличивается. Он утверждает, что характер влияния МПЗ на прочность проявляется по-разному, по мере уменьшения (увеличения) содержания цементного теста. Так, при уменьшении содержания цементного теста наступает такой момент, когда бетонная смесь становится несвязанной и неудобоукладываемой, бетон имеет большую пористость и прочность его резко падает. Нижний предел требуемого количества цементного теста для получения формуемой бетонной смеси и плотного бетона зависит от величины МПЗ.

Таблица 3 – Предел прочности на сжатие бетонов с различной МПЗ

Вид заполнителя	МПЗ	Предел прочности на сжатие МПа, при В/Ц			
		0,4	0,5	0,6	0,7
Гравий	14,21	58,0	48,1	38,5	31,6
	14,35	55,5	45,5	37,4	32,8
	19,74	39,0	34,6	26,6	23,5
Щебень из гравия	16,40	63,5	54,2	43,4	35,4
	16,60	59,5	51,2	42,7	35,0
	20,72	46,0	39,0	31,0	23,2
Гранит	17,20	53,3		38,2	
Кератофиры	18,50	48,6		34,4	

Результаты, которые Смирнов приводит в таблице, показывают, что при одинаковом В/Ц цементного теста, бетон на гранитном щебне имеет прочность на сжатие выше, чем бетон на кератофирном щебне и ниже, чем бетон на основе щебня из гравия.

Применение заполнителя с низкой МПЗ позволяет получить плотную структуру бетона при меньшем содержании цементного теста и повысить его прочность по сравнению с бетонами на заполнителях с высокой МПЗ.

Такое изменение прочностных свойств бетона может быть объяснено как увеличением содержания прочного заполнителя, который образует механически активный каркас, так и увеличением плотности и прочности пространственной сетки цементного камня.

1.1.3 Добавки

Добавки в бетонах применяются, чтобы увеличить прочность бетона и контролировать твердение. Они могут быть жидкими или порошкообразными добавками. Добавки вводят в смесь воды, цемента и заполнителя в небольших количествах.

Они выпускаются в жидкой форме и могут добавляться в бетон на заводе или непосредственно на площадке строительства.

Добавки для бетона бывают: химическими и минеральными.

Химические добавки позволяют менять свойства затвердевшего бетона, гарантирует качество бетона при смешивании, транспортировке, укладке, твердении.

Минеральные добавки уменьшают проницаемость бетона, способствуют повышению его прочности и влияют на другие свойства. Минеральные добавки влияют на свойства затвердевшего бетона за счет гидравлической или пуццолановой активности.

Добавки обычно различают по функциям, которую выполняют:

1. Уменьшение расхода воды

Водоредуцирующие добавки применяются для уменьшения количества воды затворения, снижения В/Ц, снижения потребности цемента или увеличения осадки. Они используются в сборном железобетоне, и где требуется значительное уменьшение воды, необходимой для затворения. Эти добавки позволяют снизить требуемое количество воды в бетонной смеси примерно на 5–10 процентов.

2. Ускоряющие добавки

Они срок схватывания цемента, а также снижают срок набора прочности. Ускоряющие добавки позволяют производить укладку бетонной смеси при отрицательных температурах (до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Эти добавки нельзя применять в бетонных смесях, предназначенных для армированных изделий. В них содержатся многочисленные активные компоненты, один из которых – это хлорид кальция (CaCl_2), являющийся химическим веществом и негативно взаимодействующим с металлами. Также нежелательно применение ускоряющих добавок в комплексе с другими.

3. Воздухововлекающие добавки

Воздухововлекающие добавки используются для преднамеренного введения и стабилизации микроскопических пузырьков воздуха в бетоне. Основанные на специальных поверхностно-активных веществах, эти примеси вызывают стабилизацию крошечных пузырьков воздуха диаметром менее 0,3 мм в цементной пасте. Этот воздух помогает предотвратить растрескивание и

образование накипи в результате действия льда. Воздух также увеличивает сцепление в смеси, уменьшая количество отводимой воды и сегрегацию заполнителя до того, как бетон сможет схватиться.

4. Уменьшение усадки

Добавки, уменьшающие усадку, могут быть использованы в настилах мостов, критических плитах пола и в зданиях, где трещины и скручивание должны быть сведены к минимуму из-за долговечности или эстетических соображений. Бетон сжимается, главным образом, из-за потери избытка воды. Это вызывает внутренние напряжения, которые приводят к растрескиванию или скручиванию, особенно в плитах. Эти добавки уменьшают усадочное напряжение.

5. Коррозионно–ингибирующего действия

Ингибиторы коррозии используются в бетоне для парковочных сооружений, морских сооружений и мостов, где присутствуют хлористые соли. Хлориды могут вызвать коррозию стальной арматуры в бетоне. Эти добавки работают в течение многих лет после схватывания бетона, повышая коррозионную стойкость арматурной стали, чтобы снизить риск ржавления стали, вызывающей растрескивание и образование накипи бетона.

6. Суперпластификаторы

Они основаны на сульфонированных конденсатах нафталина или меламиноформальдегида, виниловых полимерах или поликарбоксилатных эфирах. Эти добавки дают гораздо более высокую производительность, чем обычные пластификаторы. Они также известны как пластификаторы или высокопроизводительные редуторы воды (HRWR), снижают содержание воды на 12–30 процентов и могут добавляться в бетон с низким или нормальным соотношением осадка и водоцемента, чтобы сделать бетон с высокой текучестью. Текущий бетон – это очень текучий, но работоспособный бетон, который можно укладывать практически без вибрации или уплотнения. Действие суперпластификаторов длится всего от 30 до 60 минут, в зависимости от марки и дозировки, и сопровождается

быстрой потерей работоспособности. В результате потери осадка суперпластификаторы обычно добавляются в бетон на рабочей площадке.

Бетонные добавки используются в разных ситуациях. Они могут использоваться, когда свойства не могут быть достигнуты путем изменения состава основного материала в смеси, чтобы получить желаемые эффекты, которые являются экономичными, а также для того, чтобы сделать бетон, который имеет низкое качество лучше.

В заводском производстве сборных железобетонных конструкций получили широкое применение высокоподвижные литые бетоны, но их использование обоснованно только для изделий, имеющих при формировании большую высоту, изготавливаемых по кассетной или стендовой технологии. Для изделий, формируемых в горизонтальном положении, применяются жесткие и малоподвижные бетонные смеси, которые уплотняются при помощи интенсивного вибровоздействия. Такая технология, позволяющая получать качественные бетоны при невысоких расходах цемента, имеет все же ряд недостатков, к числу которых относят высокую трудоемкость формирования изделий и тяжелые условия труда рабочих при интенсивном вибровоздействии на бетонную смесь. При возведении монолитных конструкций, когда интенсивное вибровоздействие на бетонную смесь невозможно, применяют более подвижные смеси, чем в заводской технологии, однако они не обладают свойствами самоуплотнения. Применение добавок суперпластификаторов (СП), позволяет значительно повысить удобоукладываемость бетонных смесей, что в большинстве случаев считается не оправданным из-за высокой стоимости таких добавок. К числу негативных эффектов их применения относят также необходимость увеличения времени выдержки бетона перед началом тепловлажностной обработки при заводском производстве железобетонных конструкций. Кроме того, отмечается также повышение склонности к водоотделению и расслоению бетонной смеси с добавками СП.

1.2 Этапы развития пластифицирующих добавок

Первые водоредуцирующие добавки на лигносульфонатной основе, относящиеся к пластификаторам, известны с 30-х гг. XX века и применяются до сих пор, преимущественно для производства сборного железобетона в заводских условиях. Лигносульфонаты технические (ЛСТ) являются побочными продуктами целлюлозно-бумажного производства и, благодаря сложному составу, обладают многофункциональным действием, вызывая, в зависимости от вводимого количества в цементные композиции, пластифицирующее действие, ускорение или замедление гидратации, а также способствуют воздухововлечению и, соответственно, повышению морозостойкости. Однако их водоредуцирующая способность ограничивается 10%, что не позволяет существенно повысить эффективность цементных материалов. При увеличении дозировки добавки, наблюдается более сильное водопонижение, однако при этом всплывают нежелательные эффекты, как усадка, сильное воздухововлечение, отделение воды, расслоение смеси и ухудшение твердения бетона.

Значительно большим водоредуцированием характеризуются добавки-суперпластификаторы, позволяющие снижать количество воды затворения на 15-40% в зависимости от их природы, а также свойств применяемого цемента, минеральных добавок и мелкого заполнителя. К этой группе добавок относятся продукты конденсации сульфированного нафталина с формальдегидом (СНФ) и меламинасульфокислоты с формальдегидом.

В последние годы в строительной практике при изготовлении бетонов нового поколения все большее применение находят высокоэффективные поликарбоксилатные суперпластификаторы. Они интенсивно исследуются многими ведущими фирмами, уже выпускающими в промышленных масштабах целый ряд подобных добавок, получивших коммерческое название «гиперпластификаторы», поскольку реальные возможности снижения водоцементного отношения (до 40%) и разжижения бетонной

смеси у них значительно выше, чем у традиционных полиметиленнафталинсульфонатов и полиметиленмеламинсульфонатов [18].

1.3 Классификация добавок-суперпластификаторов

Согласно ГОСТ 24211 «Добавки для бетонов. Общие технические требования», суперпластификаторы относятся к добавкам, регулирующим свойства бетонных смесей, и должны обеспечивать увеличение подвижности бетонной смеси от П₁ с обеспечением осадки конуса 2 – 4 см до П₅ без снижения прочности бетона во все сроки испытания. Также регламентируются следующие дополнительные эффекты: повышение прочности бетона, расслаиваемость бетонной смеси, дополнительное воздухововлечение, увеличение деформаций усадки, увеличение деформаций ползучести [10].

Согласно классификации добавок – модификаторов цементных систем, предлагаемой В.Б. Ратиновым и Т.И. Розенберг [18], суперпластификаторы можно отнести к добавкам четвертого класса – органическим поверхностно-активным веществам (ПАВ) гидрофилизирующего действия. Основное отличие величины водоредуцирующего эффекта суперпластификаторов от пластификаторов, по мнению исследователей, связано, в первую очередь, с их получением путем направленного синтеза, тогда как пластификаторы типа ЛСТ – попутные продукты производства с неконтролируемым составом и, зачастую, свойствами.

1.4 Механизм действия добавок-суперпластификаторов

Суперпластификаторы представляют собой анионноактивные органические вещества коллоидного размера с большим количеством полярных групп. При введении суперпластификатора в бетонную смесь они, адсорбируясь на твердой поверхности зерен цемента и заполнителя, создают на поверхности утолщенную оболочку со значительным отрицательным

потенциалом и тем самым повышают эффект диспергации и отталкивания частиц и подвижность бетонной смеси.

С повышением количества адсорбции добавки на поверхности цементных зерен увеличивается и значение ζ -потенциала, что создает электростатические силы отталкивания между цементными частицами и способствует их пептизации.

Для обеспечения их хорошего взаимодействия с поверхностью твердых частиц требуется интенсивное перемешивание или предварительная активация в присутствии добавки.

Суперпластификаторы оказывают существенное влияние на реологию бетонных смесей: они уменьшают предельное напряжение сдвига и пластическую вязкость.

НФ, МФ, ЛСТМ характеризуются линейной формой молекул и обеспечивают значительное водоредуцирование в основном за счет адсорбции на зернах цемента и гидратных фазах и придания им одноименного электростатического заряда, что вызывает отталкивание и диспергацию цементных молекул. При этом молекула полимера выстраивается вдоль цементного зерна, что может затруднять доступ воды к поверхности клинкерных минералов и, вследствие этого, на ранних стадиях значительно замедлять гидратацию, а также приводить к расслаиваемости цементно-водной суспензии.

В основе действия поликарбоксилатов лежит другой механизм - стерическое отталкивание боковых цепей адсорбированных макромолекул при отсутствии ярко выраженного влияния ζ -потенциала на пластифицирующую способность.

Это подтверждается исследованиями Н.Nakanishi, S.Tamaki и ряда сотрудников, которые дают сравнительную оценку значений роста ζ -потенциала при увеличении концентрации добавок СНФ и поликарбоксилатного суперпластификатора (рисунок 1).

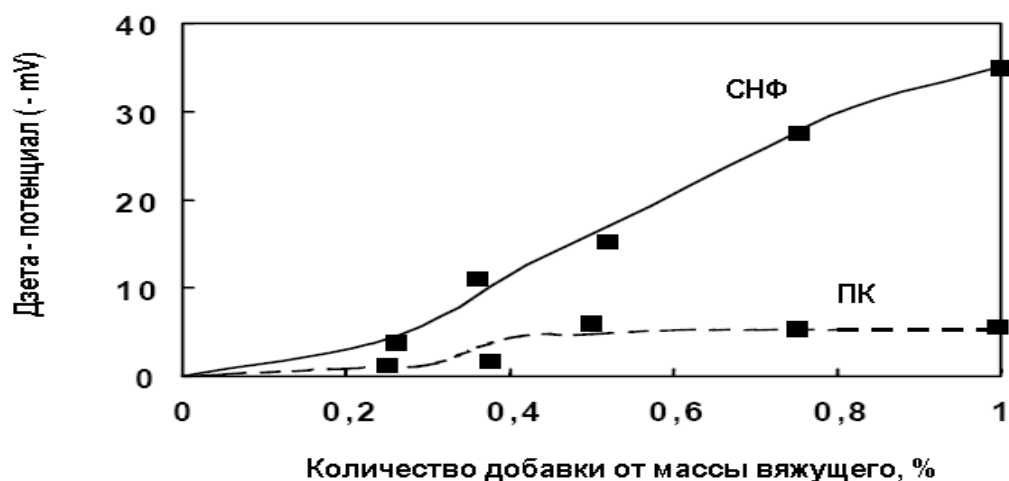
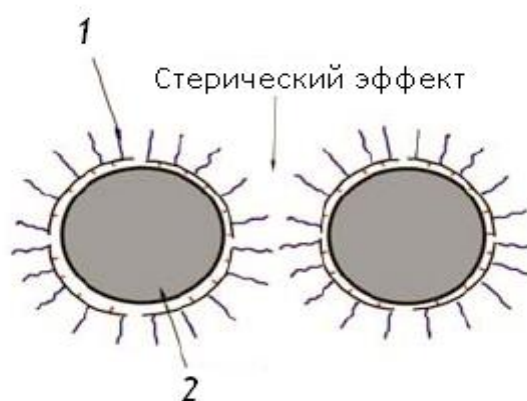


Рисунок 1 – Зависимость ζ -потенциала от концентрации СНФ и П в цементной суспензии

В отличие от вышеперечисленных добавок, суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилатов прикрепляются к поверхности цементного зерна в основном точно и характеризуются пространственным строением молекулы с разветвленными боковыми цепями, что способствует более эффективной диспергации цементных флокул за счет стерического эффекта, а также позволяет обеспечить доступ воды к клинкерным минералам (рисунок 2).



1 – привитой полиэфир; 2 – частица цемента

Рисунок 2 – Механизм действия суперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилатов

1.5 Структура суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов и их характеристика

Поликарбоксилаты представляют собой сополимеры с гидрофильной, анионной основной цепью и боковыми цепями, представленными как анионными функциональными группами, так и гидрофобными, незаряженными полиэфирами.

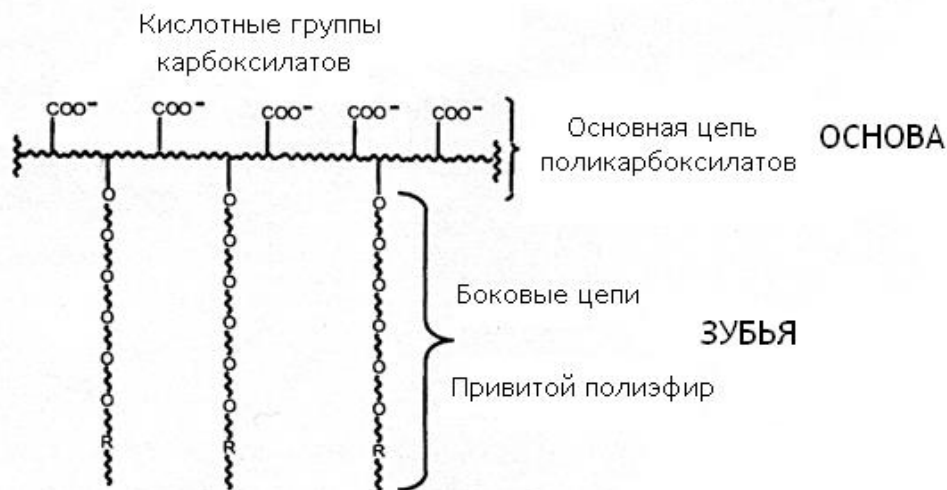


Рисунок 3 – Структура молекулы

В основу молекулярного дизайна при создании высокоэффективных водорастворимых карбоцепных суперпластификаторов положена такая химическая модификация карбоксилсодержащих полимеров, которая позволяет ввести в эти макромолекулы длинные боковые олигоалкиленоксидные цепи через образование соответствующих сложноэфирных или амидных групп. Это обеспечивает практически неограниченные возможности контроля химического и физического поведения полимеров и их взаимодействия с цементными частицами посредством изменения длины основной и боковой цепи, электрических зарядов, плотности боковых цепей, свободных функциональных групп.

Как правило, основой карбоцепных полимеров служат акрилаты и метилметакрилаты. Впервые эти добавки были получены в начале 80-х годов

и достаточно быстро завоевали заметное место на рынке. Структура их молекулы представлена на рисунке 4.

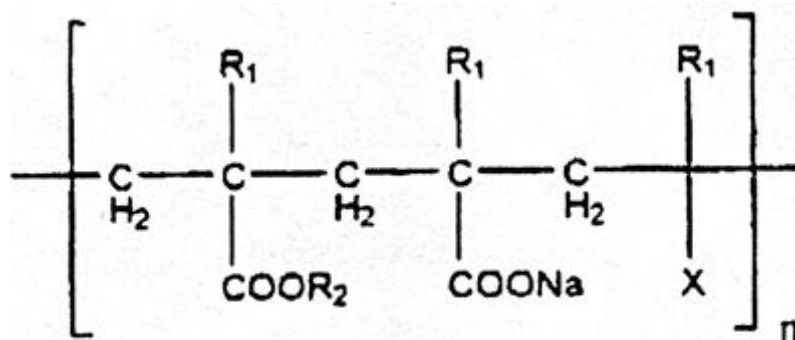


Рисунок 4 – Структура основы молекулы карбоцепных полимеров

Важно подчеркнуть, что поликарбоксилаты адсорбируются преимущественно на гидросульфоалюминатах, но дальнейшее фазообразование приводит к практически полному подавлению пластифицирующего действия за счет «перекрывания» зон стерических эффектов. Таким образом, при «проектировании» молекулы суперпластификаторов важно учесть конкурентные скорости адсорбции и гидратации-фазообразования для того, чтобы обеспечить необходимую продолжительность их действия и, следовательно, сохраняемость бетонных смесей. Поэтому современные продукты содержат, как правило, молекулы нескольких типов, действие каждого из которых начинается в строго определенное время [19].

Оптимизация химической структуры поликарбоксилатов за счет применения нанотехнологий («сборки» молекул заданного строения) обеспечивает лучшее использование всего вводимого количества суперпластификаторов, что заметно снижает их дозировку, а также позволяет минимизировать их чувствительность по отношению к химическому составу цемента. Так, например, уменьшение водопотребности бетонной смеси определяется электрическими зарядами и боковыми цепями, сохраняемость, связанная со скоростью адсорбции полимеров на частицах цемента, – функциональными мономерами, а развитие ранней прочности бетона – формой (конфигурацией) полимерной молекулы, в целом.

1.6 Технология изготовления

Согласно требованиям ГОСТ 9818–2015, для изготовления лестничных маршей должен использоваться бетон, имеющий класс В25. Бетонная конструкция подлежит армированию, в обязательном порядке ей подлежат косоуры и опорная плита. Ступеньки нуждаются в армировании в зависимости от расчетной нагрузки, этажности сооружения, климатических условий и особенностей эксплуатации. При армировании используют арматурные прутья диаметра 6–12 мм, выполненные из стали класса А3. Оптимальный шаг между стержнями должен быть от 10 до 20 мм.

В общем, технологический процесс включает в себя следующие операции:

- приготовление бетонной смеси;
- армирование ЖБИ изделий;
- формование;
- твердение;
- обработка поверхности готовых изделий.

1.6.1 Технологическая схема производства лестничных маршей

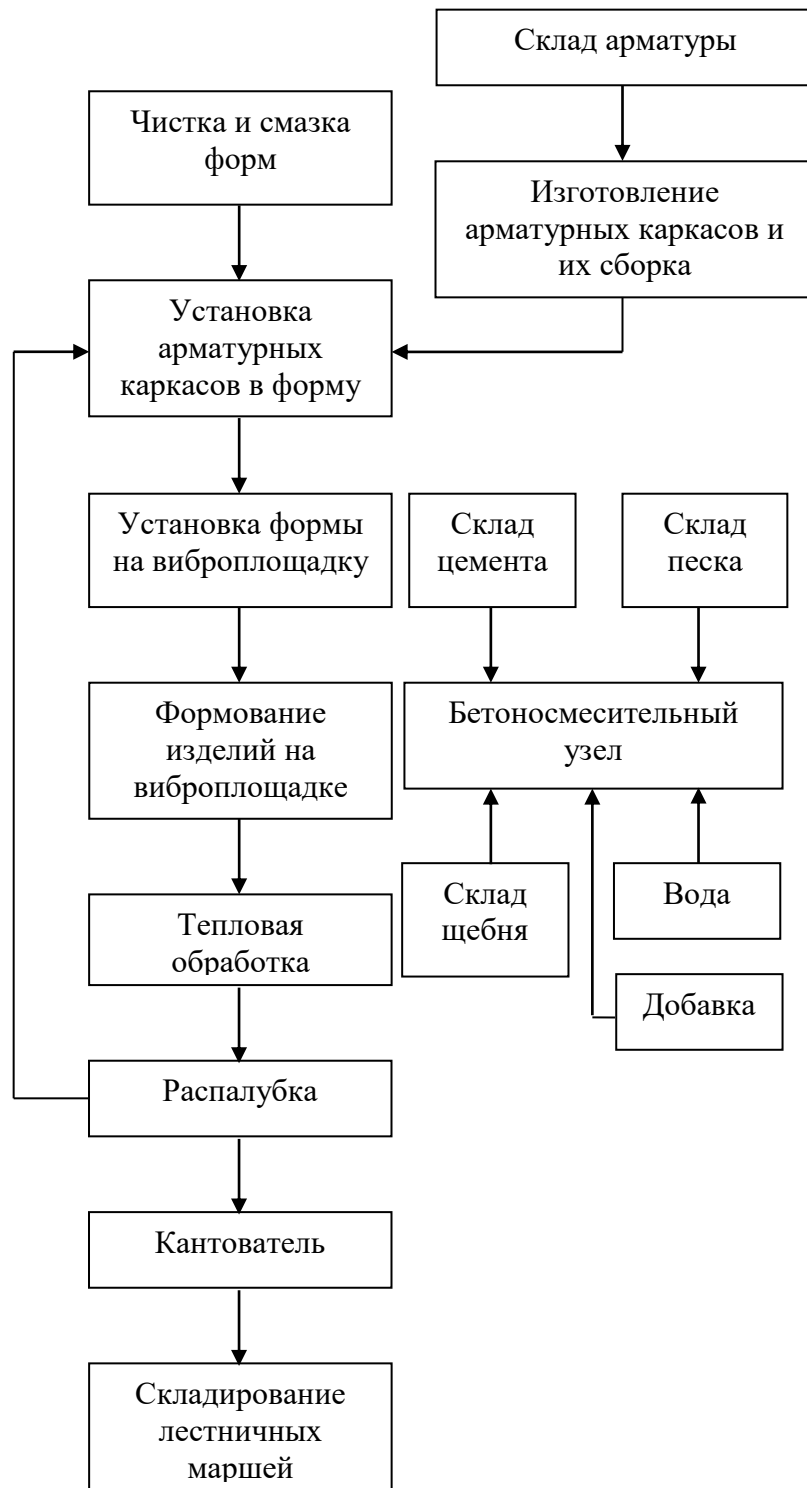


Рисунок 5 – Технологическая схема лестничных маршей

1.6.2 Приготовление бетонной смеси

В состав бетонной смеси входят следующие материалы:

- вода;
- заполнители – песок, гравий и др.;
- вяжущее вещество (преимущественно цемент);
- добавки – для усиления тех или иных свойств (прочности, декоративности и т. д.) по необходимости.

Соотношение элементов определяется требованиями документации к эксплуатационным качествам готовых изделий, поэтому для каждого из ЖБИ оно будет разным.

Бетонной смесью называют рационально составленную и тщательно перемешанную смесь компонентов бетона (вяжущее, вода, мелкий и крупный заполнители) до начала процессов схватывания и твердения.

Каждый из этих компонентов влияет на реологические свойства смеси. По своим свойствам бетонная смесь занимает промежуточное положение между вязкими жидкостями и твердыми телами.

Бетонную смесь удобно рассматривать как систему, состоящую из двух компонентов: цементного теста и заполнителя. Цементное тесто является основным структурообразующим компонентом в состав, которого входят цемент, вода и в ряде случаев тонкомолотые минеральные добавки. Чем больше в цементном тесте воды, тем пластичнее тесто и соответственно пластичнее бетонная смесь. При введении заполнителя в цементное тесто слои теста прилегающие к поверхности заполнителя теряют свою подвижность, смесь становится менее пластичной. Влияние заполнителя возрастает с увеличением его содержания

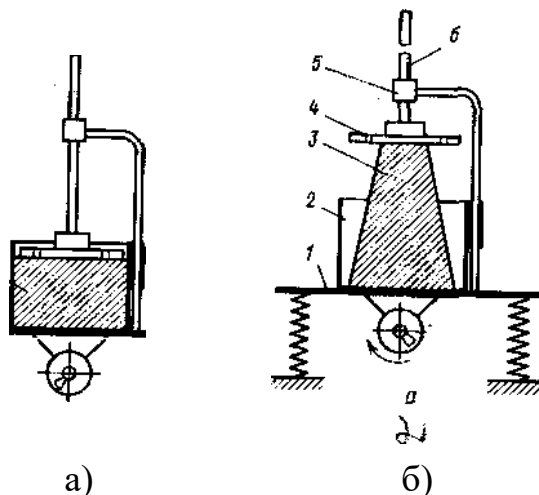
Одно из основных свойств бетонной смеси – тиксотропия – способность разжижаться (т. е. приобретать свойства жидкого тела) при периодически повторяющихся механических воздействиях (например, вибрации) и вновь загустевать при прекращении этого воздействия. Механизм тиксотропного разжижения заключается в том, что при

вибрировании силы внутреннего трения и сцепления между частицами уменьшаются и бетонная смесь становится текучей. Это свойство широко используют при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Удобоукладываемость – обобщенная техническая характеристика вязкопластичных свойств бетонной смеси. Под удобоукладываемостью понимают способность бетонной смеси под действием определенных приемов и механизмов легко укладываться в форму и уплотняться, не расслаиваясь. Удобоукладываемость смесей в зависимости от их консистенции оценивают по подвижности или жесткости.

Подвижность – служит характеристикой удобоукладываемости пластичных смесей, способных деформироваться под действием собственного веса. Подвижность характеризуется осадкой стандартного конуса, отформованного из испытываемой бетонной смеси.

Жесткость – характеристика удобоукладываемости бетонных смесей, у которых не наблюдается осадки конуса ($OK = 0$). Ее определяют по времени вибрации (в секундах), необходимому для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса из бетонной смеси с помощью специального прибора (рисунок б), который представляет собой металлический цилиндр 2 диаметром 240 мм и высотой 200 мм со штативом и штангой 6 и металлическим диском 4 с шестью отверстиями. Прибор закрепляют на стандартной виброплощадке 1, в него вставляют форму–конус 3. Конус заполняют бетонной смесью в три слоя, штыкуя каждый слой 25 раз. Затем форму–конус снимают и, поворачивая штатив, опускают металлический диск 4 на поверхность бетонной смеси.



а – прибор в начальном положении; б – то же на момент окончания испытаний;

1 – виброплощадка; 2 – цилиндрическая форма; 3 – бетонная смесь; 4 – диск с отверстиями; 5 – втулка; 6 – штанга.

Рисунок 6 – Схема определения жесткости бетонной смеси

После этого включают вибратор. Время (в секундах), в течение которого смесь распределится в цилиндрической форме 2 равномерно и хотя бы через два отверстия диска начнет выделяться цементное молоко, принимается за показатель жесткости смеси (Ж).

В зависимости от удобоукладываемости различают жесткие и подвижные бетонные смеси, которые, в свою очередь, делятся на марки.

Жесткие бетонные смеси содержат небольшое количество воды и соответственно пониженное количество цемента в сравнении с подвижными смесями у бетонов равной прочности. Жесткие смеси требуют интенсивного механического уплотнения: длительного вибрирования, вибропрессования и т. п. Используют такие смеси при изготовлении сборных железобетонных изделий в заводских условиях (например, на домостроительных комбинатах); в построечных условиях жесткие смеси применяют редко.

Подвижные смеси отличаются большим расходом воды и соответственно цемента. Смеси марок П1 и П2 представляют собой густую массу, которая легко разжижается при вибрировании. Смеси марок П3 и П4 текучие; под действием силы тяжести они заполняют форму, не требуя

значительных механических усилий. Подвижные смеси можно транспортировать бетононасосами по трубопроводам.

Связность – способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т.е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения. При механических воздействиях на бетонную смесь в результате ее тиксотропного разжижения часть воды как наиболее легкий компонент отжимается вверх. Крупный заполнитель, плотность которого обычно больше плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), опускается вниз.

Прочность бетона зависит от прочности составляющих его материалов и от прочности сцепления их друг с другом. Прочность заполнителя (песка, щебня, гравия) в тяжелом бетоне, как правило, выше заданной прочности бетона, поэтому мало влияет на последнюю. Таким образом, прочность бетона определяется в основном двумя факторами:

- прочностью затвердевшего цементного камня;
- прочностью его сцепления с заполнителем.

Прочность цементного камня в свою очередь, зависит от двух факторов: активности (марки) используемого цемента ($R_{ц}$) и соотношения количества цемента и воды (C/V).

Чем выше марка цемента, тем при прочих равных условиях будет прочнее цементный камень. Зависимость прочности цементного камня от соотношения цемента и воды в бетонной смеси объясняется следующим. Цемент при твердении химически связывает не более 20–25 % воды от своей массы. Но чтобы обеспечить необходимую пластичность цементного теста и, соответственно, подвижность бетонной смеси, необходимо брать 40–80 % воды от массы цемента. Вода, кроме того, необходима для смачивания поверхности песка и крупного заполнителя: большая удельная поверхность заполнителя требует большего расхода воды. Естественно, чем больше в бетоне будет свободной, химически не связанной воды, тем больше

впоследствии будет пор в цементном камне и соответственно ниже станет его прочность.

С другой стороны, если не обеспечить необходимую удобоукладываемость бетонной смеси, то из-за недоуплотнения в структуре бетона появятся крупные пустоты и участки с нарушенной связью «цементный камень — заполнитель», что приведет к резкому снижению прочности бетона.

1.6.3 Армирование ЖБИ

На данном этапе производства железобетонных изделий на заводах применяют один из двух принципиально различных способов: ненапряженное и предварительно–напряженное армирование.

Ненапряженное армирование

Производится с использованием объемных каркасов и плоских сеток. Для этих целей применяют арматуру двух типов: основную и вспомогательную. Основная помещается в тех частях изделия, в которых под нагрузкой в дальнейшем будут возникать растягивающие напряжения. Вспомогательная арматура размещается в ненапряженных или сжатых местах изделия.

Предварительно напряженное армирование

Применяется для производства конструктивных элементов, которые будут подвергаться изгибающим нагрузкам. В бетоне по всей площади сечения создается предварительное обжатие. В качестве стандартной напрягаемой арматуры, как правило, используют высокопрочную проволочную или упрочненную сталь.

1.6.4 Формование

Один из важнейших этапов в процессе производства ЖБИ изделий. Различают три основных способа формования:

– Стендовый. Изделия изготавливаются в непереключаемых формах. К этому способу относится формование на плоских стендах, в кассетах и матрицах.

– Производство ЖБИ в перемещаемых формах. При таком способе изделие вместе с формой перемещается на специализированных постах по мере выполнения отдельных операций.

– Непрерывное формование. Один из самых распространенных способов, в котором используется вибропрокатный стан. Данный метод формования имеет большую производительность по сравнению с другими способами формования.

1.6.5 Твердение

Для обеспечения твердения железобетонных изделий применяют три различных режима:

– нормальный – при температуре от 15 до 20°C;

– тепловая обработка – при температуре до 100°C;

– автоклавная обработка – пропаривание при температуре свыше 100°C и высоком давлении.

Выбор температурного режима твердения зависит от требований к прочности ЖБИ.

1.6.6 Обработка поверхности

Способ отделки ЖБИ выбирается с учетом предполагаемых условий эксплуатации и типа изделий. Так, например, стеновые блоки могут обрабатывать с использованием алюминиевых листов и цветных цементных плиток.

На завершающем этапе все изделия проходят контроль качества.

1.7 Номенклатура продукции и требования нормативной документации

1.7.1 Конструкция маршей

Лестничные марши изготавливаются по ГОСТ 9818 – 2015 «Марши и площадки лестниц железобетонные. Технические условия» и технологическими документами, принятыми предприятиями–производителями и с учетом рабочих чертежей. Может допускаться изготовление элементов по проектным документам, утвержденным в

специальном порядке, которые имеют отличные от стандартов типы, размеры и показатели потребности материалов, указанных в ГОСТ 9818 – 2015 [1, с. 2].

Согласно, принятому ГОСТу существуют следующие типы лестничных маршей [1, с. 2-4]:

- ЛМ – плоские без фризовых ступеней;
- ЛМФ – ребристые с фризовыми ступенями;
- ЛМП – ребристые с полуплощадками.

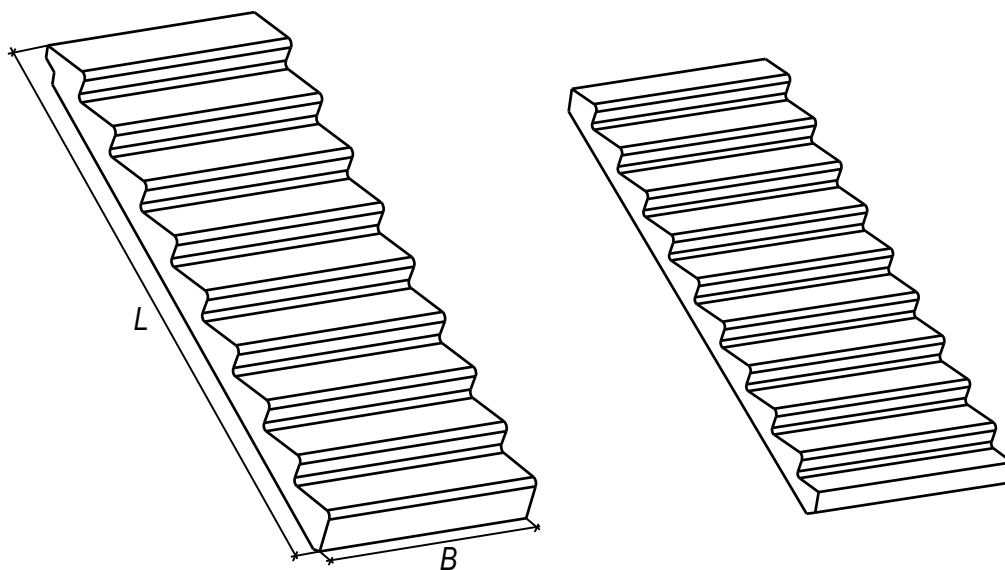


Рисунок 7 – Общий вид лестничных маршей

1.7.2 Основные размеры лестничных маршей

Значения реальных отклонений геометрических параметров изделий от максимально-допустимых указаны в таблице 4 [1, с. 20].

Таблица 4 – Значения действительных отклонений геометрических параметров маршей

Наименование отклонения геометрического параметра	Наименование геометрического параметра	Предельное отклонение
Отклонение от линейного размера	Марши и площадки	
	Длина	
	до 4000	±5
	св. 4000	±6
	Ширина	±5
	Толщина	±3
	Размеры ребер, полок, выступов, отверстий и каналов	±5
Отклонение от прямолинейности	Положение закладных изделий:	
	в плоскости поверхности для закладных изделий размерами до 100	5
	то же, для закладных изделий размерами св. 100	10
	из плоскости поверхности	3
	Накладные проступи	
	Длина	±5
	Ширина	±3
	Толщина	±2
	Прямолинейность профиля лицевой поверхности:	
	ступени марша, площадки или накладной проступи длиной до 2500 на участке 1000	2
	марша или площадки длиной св. 2500 до 4000 на всей длине	±3
	то же, длиной св. 4000 на всей длине	±4

1.7.3 Требования к качеству поверхностей и внешнему виду лестничных маршей

Требования данной категории определяются по ГОСТ – 13015.0. Однако, необходимо, чтобы качество поверхностей изделий соответствовало требованиям, установленным для категорий: А2 – лицевой, верхней; А3 – лицевой, нижней и боковых; А7 – нелицевой, невидимой в условиях эксплуатации.

1.7.4 Правила приемки лестничных маршей

Приемка изделий осуществляется по ГОСТ 9818–2015 и ГОСТ 13015 – 2012. В данной документации указано, что приемка лестничных маршей по значению их прочности, жесткости и трещиностойкости, по морозостойкости и истираемости бетона, должна производиться по результатам периодических испытаний [1, с. 21].

Приемку лестничных маршей по показателям прочности (классу или марке по прочности на сжатие, отпускной прочности) бетона, соответствия арматурных и закладных изделий типовой проектной документации, прочности сварных соединений, точности геометрических параметров и толщины защитного слоя бетона до арматуры, ширины раскрытия трещин, категорий бетонной поверхности элементов лестниц следует проводить по результатам приемо-сдаточных испытаний и контроля [1, с. 21].

1.7.5 Хранение, маркировка и транспортировка изделий

Организация хранения маршей осуществляется по ГОСТ 9818–2015 «Марши и площадки лестниц железобетонные. Технические условия» и ГОСТ 13015–2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения».

Марши и площадки (кроме маршей типа ЛМП) следует транспортировать и хранить в штабелях в горизонтальном положении, при этом марши следует располагать ступенями вверх. Высота штабеля при хранении маршей и площадок не должна превышать 2,5 м. Допускается

хранить марши в положении «на ребро» при надежном их закреплении в этом положении [1,с. 22].

Подкладки и прокладки между рядами маршей и площадок должны быть толщиной не менее 30 мм и установлены в местах расположения строповочных отверстий или монтажных петель [1, с 22].

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ. ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

В России и за рубежом накоплен большой опыт исследования оптимизации зернового состава заполнителей, однако, практически нет исследований применения на практике совместных оптимизированных составов как мелкого, так и крупного заполнителей. А из-за снижения сырьевых баз заполнителей, возникает необходимость в таком анализе.

Целью проведенной научно–исследовательской работы является изучить влияние изменения состава сырьевых материалов на физико-механические свойства бетонных смесей и бетона для лестничных маршей.

Задачи, решаемые для достижения поставленной цели:

1. Определение технических характеристик сырьевых материалов.
2. Получение минимальных и максимальных пустотностей заполнителей при различных соотношений фракций внутри них, изменение количества вяжущего вещества, путем замены его определенной доли золой–уноса.
3. Исследование влияния, полученных результатов на свойства бетонной смеси для лестничных маршей.
4. Определить экономическую эффективность влияния на состав бетонных смесей лестничных маршей.

2 СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Требования к сырью

2.1.1 Технические требования к портландцементу

Требования к ПЦ, используемому для изготовления ЖБИ изделий приводятся в:

– ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»;

– ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»;

– ГОСТ 30515–2013 «Цементы. Общие технические условия».

Согласно данным этих документов, в бетонных смесях для железобетонных изделий используется портландцементный клинкер, в котором трехкальциевого и двухкальциевого силикатов ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) должно содержаться не меньше 67 % от массы клинкера, соотношение оксида кальция к оксиду кремния (CaO/SiO_2) по массе – не меньше 2,0. Процентное содержание оксида магния (MgO) в клинкере не должно превышать 5,0% от массы клинкера [3, с. 2, 4]. Допустимое содержание ангидрида серной кислоты (SO_3) в цементе находится в пределах от 1,5 до 3,5 % [4, с. 8].

Портландцемент также должен относиться к первой группе эффективности при пропаривании.

Для смачивания поверхности частиц вяжущего (портландцемента) необходимо около 15% воды от массы цемента. И эта величина возрастает в зависимости от степени измельчения ПЦ. Вода при взаимодействии с частицами портландцемента образует пленку, которая охватывает каждую частицу, равномерно распределяясь по поверхности. Чем сильнее измельчено вяжущее, тем больше площадь поверхности каждого грамма цемента и тем больше необходимо воды для взаимодействия с цементом. Этот эффект можно назвать смачиванием. Площадь поверхности частицы цемента

пропорциональна квадрату ее диаметра, а масса частицы пропорциональна кубу диаметра.

Характеристика цемента:

Цемент произведен ООО «Дюккерхофф Коркино Цемент». ЦЕМ II/В–Ш 32,5Н (портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В со шлаком (Ш) от 21% до 35%), класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий. Нормальная плотность цементного теста 30,5 %. Начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты.

Таблица 5 – Минералогический состав клинкерной части

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
59,2...59,4	15,9...16,1	6,22..6,28	11,9...12,1

Таблица 6 – Химический состав цемента

Содержание основных оксидов составе цемента, % по массе								ППП, %
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$Na_2O + K_2O$	SO_3	Cl	
21,0	5,59	3,94	64,92	0,78	2,52	2,52	0,019	2,24
–	–	–	–	–	–	–	–	–
21,08	5,60	3,96	64,93	0,82	2,57	2,57	0,027	2,31

2.1.2 Требования к заполнителям бетонной смеси

Мелкий заполнитель

Технические требования к песку изложены в ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия».

Характеристики песка:

- месторождение: «Хлебороб–2»;
- МК = 2,8;
- класс песка – I;
- насыпная плотность 1400 кг/м³;
- средняя плотность 2570 кг/м³;

- полный остаток на сите № 0,63 – 30...45 %;
- содержание зерен крупностью свыше 10 мм – не более 0,5 %;
- содержание зерен крупностью свыше 5 мм – не более 5 %;
- содержание зерен крупностью менее 0,16 мм – не более 5 %;
- содержание пылевидных и глинистых примесей – не более 5 %.

Крупный заполнитель

Технические требования, предъявляемые к крупному заполнителю, содержатся в ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».

Характеристики щебня:

- месторождение: Новосмолинский карьер. ООО «Новосмолинская горная компания»;
- насыпная плотность 1500 кг/м³;
- плотность средняя 2600 кг/м³;
- фракция – 5.....20 мм;
- содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы – не более 5%;
- марка щебня по морозостойкости – не менее F200.

2.1.3 Требования к арматуре

Требования к арматуре предъявляются по ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия».

Для армирования лестничных маршей используют стержневую горячекатаную арматурную сталь классов А240 (А–I), А400 (А–III), которая изготавливается из арматурной стали класса (А400) А–III, упрочнением вытяжкой, с контролем величины напряжения и предельного удлинения [8, с. 11].

2.1.4 Требования к воде затворения

Вода для бетонной смеси должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». В нем

указано, что вода не должна содержать химических соединений и примесей в количествах, которые могут оказать влияние на сроки схватывания цемента. Сроки схватывания цемента не должны изменяться более чем на 25%. Допустимо влияние воды затворения на скорость твердения, прочность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона, коррозию арматуры, в пределах, которые не превышают нормы [9, с. 2].

Таблица 7 – Содержание в воде растворимых солей, сульфатов, хлоридов и взвешенных частиц

Назначение воды	Максимальное допустимое содержание, мг/л			
	растворимых солей	ионов SO_4^{2-}	ионов Cl^-	взвешенных частиц
Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемого раствора	2000	600	500	200

2.2 Методы исследования

Так как заполнители занимают не менее трех четвертей объема бетона, не удивительно, что их качеству придается важное значение. Свойства заполнителей влияют не только на прочность бетона, но и в значительной степени на его долговечность и эксплуатационные свойства.

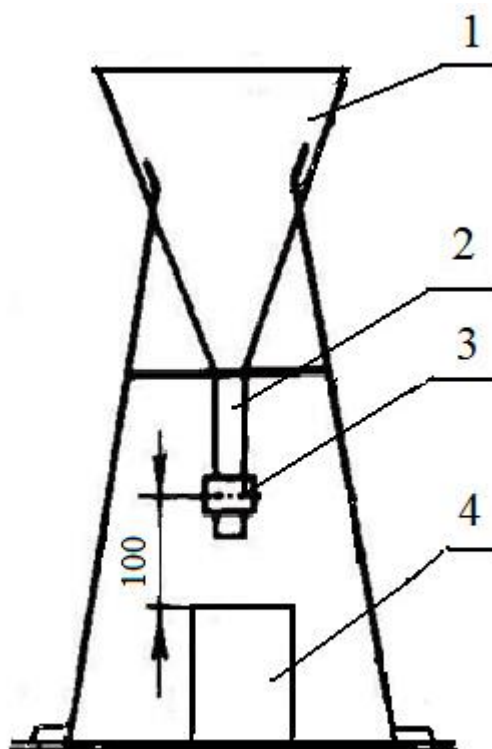
Первоначально заполнители рассматривали как распределенный в цементном тесте инертный материал, применяемый в основном по экономическим соображениям. Можно придерживаться и противоположного мнения и рассматривать заполнители как строительный материал, связанный в единое целое цементным камнем, как и в сооружениях из каменной кладки.

В действительности заполнители не являются полностью инертным материалом, так как их физические, теплотехнические и иногда химические

свойства оказывают определенное влияние на эксплуатационные свойства бетона [20, с. 67].

2.2.1 Определение насыпной плотности песка и расчет его пустотности

Среднюю сухую пробу песка массой 5–10 кг просеивают через сито с отверстиями, диаметр которых равен 5 мм. Затем песок, который прошел сквозь отверстия данного сита, высыпают с высоты 10 сантиметров в предварительно взвешенный мерный цилиндр емкостью 1 литр до образования конуса над верхом цилиндра (рисунок 8). Конус срезают вровень с краями сосуда без уплотнения песка, после чего цилиндр с песком взвешивают. Насыпная плотность песка вычисляется в $\text{кг}/\text{м}^3$ как отношение массы песка в сосуде к его объему. Определение проводят два раза, при этом каждый раз берется новая порция песка. Показатель насыпной плотности песка в пробе вычисляют как среднее арифметическое результатов двух определений.



1 – воронка; 2 – трубка; 3 – задвижка; 4 – мерный цилиндр

Рисунок 8 – Определение насыпной плотности песка

Пустотность песка вычисляют в процентах по объему с точностью до 0,1 % по установленному значению насыпной плотности и значению плотности зерен песка.

2.2.2 Определение зернового состава песка и его модуля крупности

Высушенную до постоянной массы пробу песка, равную 2 кг, просеивают сквозь сито с отверстиями диаметром 10 и 5 миллиметров. Остатки на этих ситах взвешивают и вычисляют процентное содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм и более.

Из пробы песка, прошедшего через указанные сита, отбирают навеску массой 1 кг для определения состава песка без гравия. Подготовленную навеску просеивают сквозь несколько сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сеткой с размером ячеек 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Просеивание должно осуществляться механическим или ручным способами. Продолжительность просеивания должна обеспечивать проход не более 1 грамма песка при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 минуты. Остатки на каждом сите взвешивают с точностью до 1 грамма.

Частный остаток на каждом сите определяется как отношение массы остатка на данном сите к массе просеиваемой пробы в процентах. Полный остаток находят как сумму частных остатков на данном сите и всех ситах с большим размером отверстий.

Модуль крупности песка рассчитывается с точностью до 0,01 как сумма всех полных остатков, деленная на 100.

2.2.3 Определение насыпной плотности щебня и подсчет его пустотности

Насыпная плотность определяется взвешиванием определенного объема щебня, высушенного до постоянной массы в рыхло–насыпанном состоянии.

Щебень с наибольшей крупностью зерен 200 мм насыпают в заранее взвешенный мерный цилиндр емкостью 10 литров с высоты 10 сантиметров

до образования конуса, который срезают на уровне краев без уплотнения. После этого цилиндр со щебнем взвешивают.

Насыпную плотность щебня вычисляют в кг/м^3 как среднее значение из результатов двух определений.

Пустотность щебня вычисляют в процентах по объему с точностью до 0,1 %.

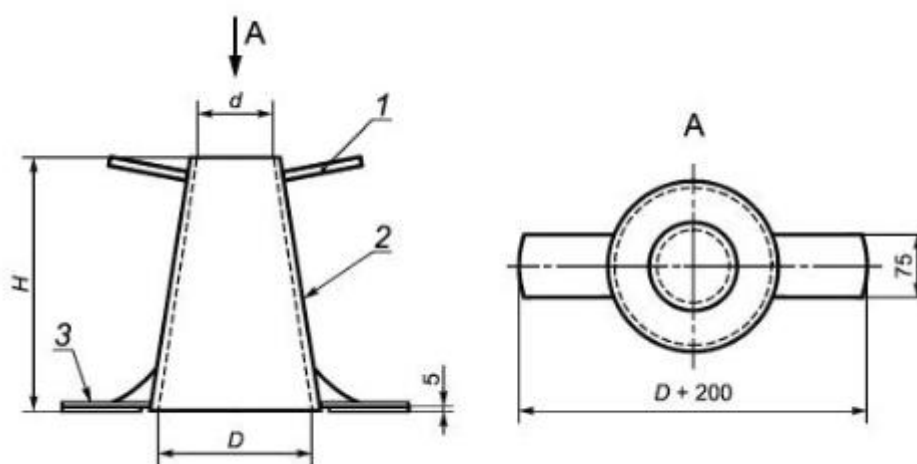
2.2.4 Определение зернового состава щебня

Крупный заполнитель при приготовлении бетонных смесей применяют в виде отдельно дозируемых фракций.

Для испытаний отбирают пробу щебня в воздушно-сухом состоянии, масса которой устанавливается в зависимости от наибольшей крупности зерен от 10 до 70 миллиметров, соответственно 5, 10, 20 и 30 кг. Пробу щебня просеивают через набор контрольных сит с отверстиями 3, 5, 10, 20 мм, собранных в колонку. На каждом сите определяют остатки щебня, выражая их в процентах к первоначально взятой навеске.

2.2.5 Определение подвижности бетонной смеси

Для испытания используется усеченный конус из металла, у которого высота 300 мм, нижний диаметр 200 мм и верхний диаметр 100 мм.



1 – ручка; 2 – корпус; 3 – упоры

Рисунок 9 – Конус для определения подвижности

Конус устанавливают на стальной лист и наполняют раствором через воронку в три слоя, имеющих равную высоту. Каждый слой штыкуют с

помощью металлического прута. После уплотнения бетонной смеси снимают загрузочную воронку, избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса и заглаживают поверхность бетонной смеси. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин. Форму снимают моментально после заполнения. Поднимать ее необходимо исключительно вертикально. Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5-7 с.

Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх конуса и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до поверхности бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см.

Осадку конуса бетонной смеси определяют два раза. Общее время испытания с начала заполнения конуса бетонной смесью при первом определении и до момента измерения осадки конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Осадку конуса бетонной смеси одной пробы вычисляют с округлением до 1,0 см как среднеарифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем [11, с. 4]:

- на 1 см при осадке конуса до 9 см включительно;
- на 2 см при осадке конуса от 10 до 15 см;
- на 3 см при осадке конуса от 16 см и выше.

2.2.6 Испытание образцов на прочность

Испытание образцов на прочность при сжатии проводилось на гидравлическом прессе.

При испытании на сжатие образцы–кубы устанавливают одной из выбранных граней на нижнюю опорную плиту испытательной машины (пресса) центрально относительно его продольной оси, используя риски, нанесенные на плиту испытательной машины (пресса).

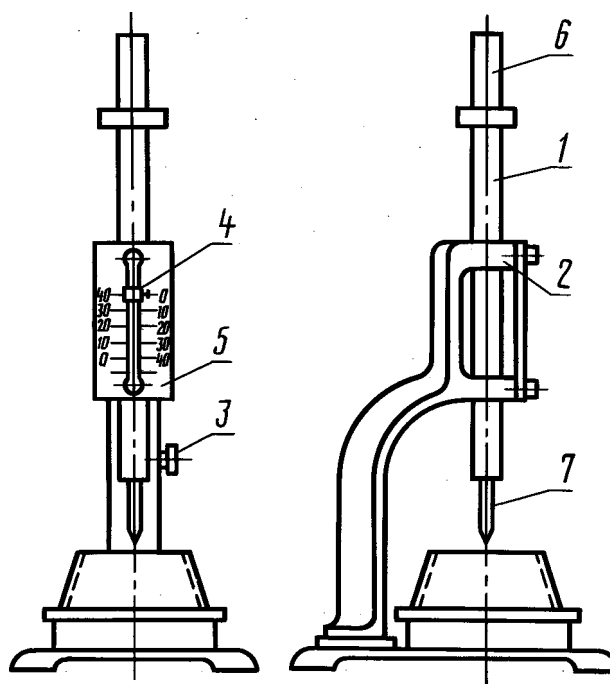
После установки образца на опорные плиты испытательной машины или дополнительные стальные плиты совмещают верхнюю плиту

испытательной машины с верхней опорной гранью образца так, чтобы их плоскости полностью прилегали одна к другой. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с [12, с. 7–8].

С целью определения влияния изменения свойств сырьевых материалов на прочность были изготовлены образцы–кубы размером $10 \times 10 \times 10$ см, которые хранились до установленного времени при нормальных условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха не менее 95%).

2.2.7 Определение нормальной густоты цементного теста

Для определения нормальной густоты используется прибор Вика (рисунок 10), сферическая чаша и лопатка для приготовления цементного теста.



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

Рисунок 10 – Устройство прибора Вика

В нижнюю часть стержня прибора Вика вставляется металлический цилиндр–пестик.

Нормальной густотой цементного теста считается такая его консистенция, когда пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное цементным тестом, не доходит на 5–7 мм до пластинки, на которой стоит кольцо. Нормальная густота характеризуется количеством воды, требуемой для затворения, которая выражается в процентах от массы цемента.

Перед началом испытания проверяют, насколько свободно опускается стержень прибора, а также показание нуля прибора, соприкасая пестик с пластиной.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 грамм цемента, высыпают в чашу, которую перед этим протерли влажной тканью. Затем, в цементе делают углубление, куда заливают воду за один прием в примерном количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты. Углубление засыпают цементом и через 30 секунд после добавления воды сначала осторожно перемешивают, а следом растирают тесто лопаткой. Длительность перемешивания и растирания составляет 5 минут с момента добавления воды.

После этого кольцо быстро наполняют цементным тестом и встряхивают 5–6 раз путем постукивания о край стола. Поверхность теста выравнивается с краями кольца, а избыток теста срезается ножом, который предварительно протерт влажной тканью. Далее, пестик прибора мгновенно приводят в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и фиксируют стержень стопорным устройством. Затем, стержень освобождают и пестик свободно опускается в тесто. Через 30 секунд замеряют погружение по шкале. При неудовлетворительных результатах количество воды меняют и снова проводят испытание, пока не будет достигнут нужный результат.

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Подбор компонентов составов для бетонных смесей

Для экспериментов подбирались следующие составы:

1. Бетонная смесь на исходном сырье.

В данном эксперименте использовались цемент, заполнители и вода без каких–либо изменений в составе.

2. Бетонная смесь с применением цемента, где его часть заменена золой.

В данном случае, часть цемента заменяется золой в количестве 20 % от массы цемента.

3. Бетонная смесь на цементе, где его часть заменена золой.

В данном случае часть цемента заменялась золой в количестве 50 % от массы цемента.

4. Бетонная смесь с применением щебня с соотношением количества фракций 60:40 %.

5. Бетонная смесь с применением песка, в котором фракция 0,315 была заменена фракцией 0,63 в соотношении 1:1.

6. Бетонная смесь с применением щебня и песка, указанных в пунктах 4 и 5 соответственно.

3.2 Описание экспериментов

3.2.1 Бетонная смесь на исходном сырье

Для приготовления бетонной смеси использовались сырьевые материалы без изменений их состава или условий замеса.

Первоначально, были определены свойства заполнителей:

- насыпная плотность песка;
- зерновой состав и модуль крупности песка;
- насыпная плотность щебня;
- зерновой состав щебня;

Определения производились по методам, указанным выше.

Проба песка массой 5 кг подвергалась просеиванию сквозь сито с отверстиями диаметром 5 миллиметров. Затем, песок, прошедший через сито, насыпался в воронку и с высоты 10 см высыпался в мерный цилиндр емкостью 1 литр, взвешенный предварительно перед началом исследования. После того, как над верхом цилиндра образовывался конус, подачу песка прекращали. Конус срезается вровень с краями сосуда, не допуская уплотнения песка, после чего цилиндр взвешивался. Насыпная плотность рассчитывается как отношение массы цилиндра с песком к его объему.

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V} = \frac{1,40}{0,001} = 1400 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right). \quad (1)$$

Пустотность песка вычисляют по формуле:

$$V_{\text{п}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{ср}}} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1400}{2570} \right) \cdot 100 = 45,5 \%. \quad (2)$$

Определение зернового состава песка производилось путем просеивания пробы песка массой 2 кг через два сита с размерами отверстий 10 и 5 миллиметров соответственно. Остатки зерен с размером 5–10 мм составляли примерно 5 % по массе, а зерен размером более 10 мм – 0,2 %.

Далее, из песка, который прошел через указанные сита, отбирают навеску массой 1 кг для определения зернового состава песка без наличия в нем гравия. Навеска просеивается сквозь сита с размером отверстий 2,5; 1,25, 0,63; 0,315; 0,16 мм. Частный остаток на каждом сите определяется как отношение массы остатка на данном сите к массе навески, выраженный в процентах.

Таблица 8 – Гранулометрический состав песка

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Остатки по ГОСТ 8736, %	–	0...20	5...45	20...70	35...90	90...100
Частные остатки, %	0	15	10	30	30	15
Полные остатки, %	0	15	25	55	85	100

По значениям полных остатков на каждом сите строится график зернового песка (рисунок 11).



Рисунок 11 – Зерновой состав мелкого заполнителя.

Модуль крупности песка рассчитывается как сумма всех полных остатков, деленная на 100.

$$M_k = \frac{15 + 25 + 55 + 85 + 100}{100} = 2,8 \quad (3)$$

По результату вычисления песок можно отнести к крупной группе песка.

Насыпная плотность щебня определялась аналогичным способом как и для песка.

Щебень с наибольшим размером зерен равным 20 мм насыпают в заранее взвешенный цилиндр объемом 10 литров с высоты 10 сантиметров до момента, пока не начнет образовываться конус. Затем, конус снимают вровень с краями без уплотнения щебня. После этого цилиндр со щебнем взвешивается, и насыпная плотность рассчитывается таким же образом, как и для песка.

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V} = \frac{1,5}{0,001} = 1500 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right). \quad (4)$$

Пустотность щебня определяется по аналогичной формуле, что и для песка:

$$V_{\text{п}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{ср}}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1500}{2600}\right) \cdot 100 = 42,3 \%. \quad (5)$$

Для испытания отбиралась проба щебня в воздушно–сухом состоянии, массой 10 кг. Данная проба просеивалась через набор сит с отверстиями 5, 10 и 20 миллиметров, установленных друг под другом в порядке убывания.

Далее, определяются частные остатки на каждом сите, которые выражаются в процентах.

Таблица 9 – Гранулометрический состав щебня

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм		
	20	10	5
Полные остатки по ГОСТ 8267, %	До 10	40...80	90...100
Частные остатки, %	1	77	18,5
Полные остатки, %	1	78	97,5

Для построения графика зернового состава щебня устанавливается требуемый наибольший (D) и наименьший (d) размеры щебня. Далее, находятся значения $0,5 \cdot (d+D)$ и $1,25D$ (Рисунок 12).

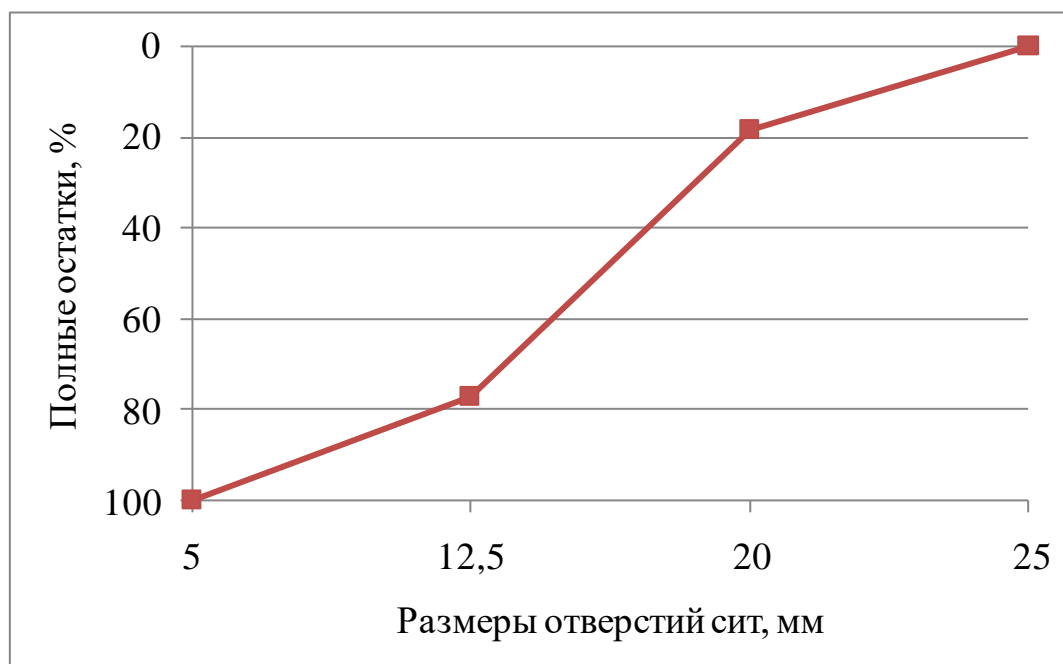


Рисунок 12 – Зерновой состав щебня

Сводка результатов исследований заполнителей, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Свойства заполнителей

Материал	Количество, кг	Свойства			
		Насыпная плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Модуль крупности
Щебень	12,6	1500	2600	42,3	–
Песок	4,2	1400	2570	45,5	2,80

Следующим этапом являлось определение свойств вяжущего вещества.

К ним относятся определение нормальной густоты цементного теста, определение сроков начала и конца схватывания.

При проведении данного испытания был взят цемент ПЦ II/B–III 32,5 Н. В результате испытания было установлено, что нормальная густота цементного теста на данном материале составляет 30,5 %, начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты. Цемент был взят в количестве 3,74 кг.

Дальнейший этап – замес бетонной смеси на компонентах с исходным составом и определение ее подвижности. Подвижность бетонной смеси определялась по осадке конуса. Готовая бетонная смесь укладывается в конус тремя слоями, каждый из которых штыкуется 25 раз металлическим штырем. После укладки последнего слоя, конус плавно снимается, переворачивается и ставится рядом с конусом из отформованной бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси измеряется от нижней поверхности стержня, расположенного на уровне металлического конуса, до поверхности бетонной смеси. Осадка конуса в данном случае составила 5,6 см. Следовательно, бетонная смесь имеет марку по подвижности П2. К этой марке относятся все бетонные смеси, которые имеют осадку конуса от 5 до 9 сантиметров включительно.

Из данной бетонной смеси были сформованы образцы–кубы размером 10х10х10 см для определения влияния изменения составов сырьевых материалов на прочность бетонного камня в возрасте 7 и 28 суток.

3.2.2 Бетонная смесь с соотношением цемента и золы 80:20 %.

Первоначально, были определены свойства заполнителей:

- насыпная плотность песка;
- зерновой состав и модуль крупности песка;
- насыпная плотность щебня;
- зерновой состав щебня.

В данном эксперименте заполнители, используемые для приготовления бетонной смеси, имели те же свойства, что и при проведении первого эксперимента. Часть цемента была заменена золой–уноса в соотношении 80 на 20 % от массы вяжущего. Таким образом, расход золы–уноса составил 0,75кг, а цемент был взят в количестве – 3,74 кг.

Проба песка массой 5 кг подвергалась просеиванию сквозь сито с отверстиями диаметром 5 миллиметров. Затем, песок, прошедший через сито, насыпался в воронку и с высоты 10 см высыпался в мерный цилиндр емкостью 1 литр, взвешенный предварительно перед началом исследования.

После того, как над верхом цилиндра образовывался конус, подачу песка прекращали. Конус срезается вровень с краями сосуда, не допуская уплотнения песка, после чего цилиндр взвешивался. Насыпная плотность рассчитывается как отношение массы цилиндра с песком к его объему. После проведения исследования пустотности песка ее значение равнялось 45,9 %.

Определение зернового состава песка производилось путем просеивания пробы песка массой 2 кг через два сита с размерами отверстий 10 и 5 миллиметров соответственно. Остатки зерен с размером 5–10 мм составляли примерно 5 % по массе, а зерен размером более 10 мм – 0,2 %.

Далее, из песка, который прошел через указанные сита, отбирают навеску массой 1 кг для определения зернового состава песка без наличия в нем гравия. Навеска просеивается сквозь сита с размером отверстий 2,5; 1,25, 0,63; 0,315; 0,16 мм. Частный остаток на каждом сите определяется как отношение массы остатка на данном сите к массе навески, выраженный в процентах.

Полный остаток на каждом сите находят как сумму частных остатков на текущем сите и всех ситах с большим размером отверстий.

Модуль крупности песка рассчитывается как сумма всех полных остатков, деленная на 100.

Насыпная плотность щебня определялась аналогичным способом, как и для песка.

Щебень с наибольшим размером зерен равным 20 мм насыпают в заранее взвешенный цилиндр объемом 10 литров с высоты 10 сантиметров до момента, пока не начнет образовываться конус. Затем, конус снимают вровень с краями без уплотнения щебня. После этого цилиндр со щебнем взвешивается, и насыпная плотность рассчитывается таким же образом, как и для песка. Пустотность щебня в этом эксперименте имела значение, равное 43,1 %.

Для испытания отбиралась проба щебня в воздушно–сухом состоянии, массой 10 кг. Данная проба просеивалась через набор сит с отверстиями 5, 10 и 20 миллиметров, установленных друг под другом в порядке убывания.

Далее, определяются частные остатки на каждом сите, которые выражаются в процентах.

Следующим этапом являлось определение свойств вяжущего вещества.

К ним относится определение нормальной густоты цементного теста, определение начала и конца схватывания.

При проведении данного испытания был взят цемент ПЦ II/B–III 32,5 Н. В результате испытания было установлено, что нормальная густота цементного теста на данном материале составляет 30,5 %, начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты. Также, в эксперименте была применена зола-унос Троицкой ГРЭС.

Дальнейший этап – замес бетонной смеси на компонентах с заданным составом и определение ее подвижности. Подвижность бетонной смеси определялась методом конуса. Готовая бетонная смесь укладывается в конус тремя слоями, каждый из которых штыкуется 25 раз металлическим штырем. После укладки последнего слоя, конус плавно снимается, переворачивается и ставится рядом с конусом из отформованной бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси измеряется от нижней поверхности стержня, расположенного на уровне металлического конуса, до поверхности бетонной смеси.

При определении подвижности данной бетонной смеси было установлено, что осадка конуса по сравнению с бетонной смесью из первого эксперимента уменьшилась. Она составила ~ 3,8–3,9 см. Следовательно, добавка золы–унос понижает подвижность бетонной смеси. Данное значение подвижности не подходит, т.к. для выбранного изделия подвижность должна соответствовать марке П2.

Для повышения подвижности бетонной смеси в смесь сухих компонентов была введена добавка СП–3 в количестве 0,2 % от массы цемента.

При повторном проведении испытания осадка конуса повысилась до 6,6 см, что свидетельствует о влиянии добавки СП–3 на подвижность бетонной смеси, которая позволила получить необходимую марку по подвижности.

Из данной бетонной смеси были сформованы образцы–кубы размером 10х10х10 см для определения влияния изменения составов сырьевых материалов на прочность бетонного камня в возрасте 7 и 28 суток.

3.2.3 Бетонная смесь с соотношением цемента и золы 50:50 %.

Первоначально, были определены свойства заполнителей:

- насыпная плотность песка;
- зерновой состав и модуль крупности песка;
- насыпная плотность щебня;
- зерновой состав щебня.

В этом эксперименте, также как и в предыдущем, часть цемента заменялась золой–унос. Количество золы было взято в соотношении 50 на 50% от массы цемента. Расход золы составил 1,87 кг, следовательно, цемента также было взято 1,87 кг. Свойства заполнителей остаются неизменными.

Проба песка массой 5 кг подвергалась просеиванию сквозь сито с отверстиями диаметром 5 миллиметров. Затем, песок, прошедший через сито, насыпался в воронку и с высоты 10 см высыпался в мерный цилиндр емкостью 1 литр, взвешенный предварительно перед началом исследования. После того, как над верхом цилиндра образовывался конус, подачу песка прекращали. Конус срезается вровень с краями сосуда, не допуская уплотнения песка, после чего цилиндр взвешивался. Насыпная плотность рассчитывается как отношение массы цилиндра с песком к его объему. Пустотность песка приняла значение равное 44,9 %.

Определение зернового состава песка производилось путем просеивания пробы песка массой 2 кг через два сита с размерами отверстий 10 и 5 миллиметров соответственно. Остатки зерен с размером 5–10 мм составляли примерно 5 % по массе, а зерен размером более 10 мм – 0,2 %.

Далее, из песка, который прошел через указанные сита, отбирают навеску массой 1 кг для определения зернового состава песка без наличия в нем гравия. Навеска просеивается сквозь сита с размером отверстий 2,5; 1,25, 0,63; 0,315; 0,16 мм. Частный остаток на каждом сите определяется как отношение массы остатка на данном сите к массе навески, выраженный в процентах.

Полный остаток на каждом сите находят как сумму частных остатков на текущем сите и всех ситах с большим размером отверстий.

Модуль крупности песка рассчитывается как сумма всех полных остатков, деленная на 100.

Насыпная плотность щебня определялась аналогичным способом как и для песка.

Щебень с наибольшим размером зерен равным 20 мм насыпают в заранее взвешенный цилиндр объемом 10 литров с высоты 10 сантиметров до момента, пока не начнет образовываться конус. Затем, конус снимают вровень с краями без уплотнения щебня. После этого цилиндр со щебнем взвешивается, и насыпная плотность рассчитывается таким же образом, как и для песка. Пустотность щебня после проведения исследования составила 42,8%.

Для испытания отбиралась проба щебня в воздушно-сухом состоянии, массой 10 кг. Данная проба просеивалась через набор сит с отверстиями 5, 10 и 20 миллиметров, установленных друг под другом в порядке убывания.

Далее, определяются частные остатки на каждом сите, которые выражаются в процентах.

Следующим этапом являлось определение свойств вяжущего вещества.

К ним относится определение нормальной густоты цементного теста, определение сроков начала и конца схватывания цементного теста.

При проведении данного испытания был взят цемент ПЦ II/B-III 32,5 Н. В результате испытания было установлено, что нормальная густота

цементного теста на данном материале составляет 30,5%, начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты.

Дальнейший этап – замес бетонной смеси на компонентах с исходным составом и определение ее подвижности.

Подвижность при таком соотношении цемента и золы снизилась еще больше. Подвижность бетонной смеси определялась по осадке конуса. Готовая бетонная смесь укладывается в конус тремя слоями, каждый из которых штыкуется 25 раз металлическим штырем. После укладки последнего слоя, конус плавно снимается, переворачивается и ставится рядом с конусом из отформованной бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси измеряется от нижней поверхности стержня, расположенного на уровне металлического конуса, до поверхности бетонной смеси. Осадка конуса в данном случае составила 3,4 см. Следовательно, бетонная смесь имеет марку по подвижности П1. К этой марке относятся все бетонные смеси, которые имеют осадку конуса от 1 до 4 сантиметров включительно.

Так как, данная марка бетонной смеси по подвижности не подходит для изготовления лестничных маршей вновь была введена добавка СП–3. При повторном определении осадки конуса было установлено, что введение добавки повысило подвижность смеси, и осадка конуса составила ~ 5,7–5,8 см. Таким образом, бетонную смесь можно отнести к марке по подвижности П2.

Из данной бетонной смеси были сформованы образцы–кубы размером 10x10x10 см для определения влияния изменения составов сырьевых материалов на прочность бетонного камня в возрасте 7 и 28 суток.

3.2.4 Бетонная смесь с применением щебня с соотношением количества фракций 60:40 %.

Первоначально, были определены свойства заполнителей:

- насыпная плотность песка;
- зерновой состав и модуль крупности песка;
- насыпная плотность щебня;

– зерновой состав щебня.

В данном эксперименте были предприняты попытки изменить соотношение массовой доли фракций щебня. Фракции щебня 5–10 и 10–20 были взяты в количестве 60 и 40 % соответственно. Таким образом, количество фракции 5–10 составило 7,5 кг, а фракции 10–20 – 5,1 кг. При проведении исследований было установлено, что насыпная плотность щебня при таком соотношении фракций составила 1340 кг/м³. Исходя из полученной насыпной плотности щебня, можно определить его пустотность. Пустотность данного щебня определяется по формуле 5:

$$V_{\text{п}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{нас}}}{\rho_{\text{ср}}} \right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1340}{2600} \right) \cdot 100 = 49 \%. \quad (5)$$

Проба песка массой 5 кг подвергалась просеиванию сквозь сито с отверстиями диаметром 5 миллиметров. Затем, песок, прошедший через сито, насыпался в воронку и с высоты 10 см высыпался в мерный цилиндр емкостью 1 литр, взвешенный предварительно перед началом исследования. После того, как над верхом цилиндра образовывался конус, подачу песка прекращали. Конус срезается вровень с краями сосуда, не допуская уплотнения песка, после чего цилиндр взвешивался. Насыпная плотность рассчитывается как отношение массы цилиндра с песком к его объему. Пустотность песка имела значение, равное 44,1 %.

Определение зернового состава песка производилось путем просеивания пробы песка массой 2 кг через два сита с размерами отверстий 10 и 5 миллиметров соответственно. Остатки зерен с размером 5–10 мм составляли примерно 5 % по массе, а зерен размером более 10 мм – 0,2 %.

Далее, из песка, который прошел через указанные сита, отбирают навеску массой 1 кг для определения зернового состава песка без наличия в нем гравия. Навеска просеивается сквозь сита с размером отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. Частный остаток на каждом сите определяется как отношение массы остатка на данном сите к массе навески, выраженный в процентах.

Полный остаток на каждом сите находят как сумму частных остатков на текущем сите и всех ситах с большим размером отверстий.

Модуль крупности песка рассчитывается как сумма всех полных остатков, деленная на 100.

Следующим этапом являлось определение свойств вяжущего вещества. К ним относятся определение нормальной густоты цементного теста, определение сроков начала и конца схватывания.

При проведении данного испытания был взят цемент ПЦ II/B–III 32,5 Н. В результате испытания было установлено, что нормальная густота цементного теста на данном материале составляет 30,5 %, начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты. Цемент был взят в количестве 3,74 кг.

Дальнейший этап – замес бетонной смеси на компонентах с исходным составом и определение ее подвижности. В бетонную смесь также изначально вводилась добавка СП–3 в количестве 0,2 % от массы вяжущего. Подвижность бетонной смеси определялась по осадке конуса. Готовая бетонная смесь укладывается в конус тремя слоями, каждый из которых штыкуется 25 раз металлическим штырем. После укладки последнего слоя, конус плавно снимается, переворачивается и ставится рядом с конусом из отформованной бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси измеряется от нижней поверхности стержня, расположенного на уровне металлического конуса, до поверхности бетонной смеси. Осадка конуса в данном случае составила 6,1 см. Следовательно, бетонная смесь имеет марку по подвижности П2. К этой марке относятся все бетонные смеси, которые имеют осадку конуса от 5 до 9 сантиметров включительно.

Из данной бетонной смеси были сформованы образцы–кубы размером 10x10x10 см для определения влияния изменения составов сырьевых материалов на прочность бетонного камня в возрасте 7 и 28 суток.

3.2.5 Бетонная смесь с применением песка, в котором фракция 0,315 была заменена фракцией 0,63.

Первоначально, были определены свойства заполнителей:

- насыпная плотность песка;
- зерновой состав и модуль крупности песка;
- насыпная плотность щебня;
- зерновой состав щебня.

В данном эксперименте определялось влияние замены одной фракции песка. Вместо фракции песка 0,315 была взята фракция 0,63 в соотношении 1:1. В связи с такими изменениями в составе насыпная плотность песка составила 1230 кг/м³. Пустотность песка после определения составила 52,1%.

Щебень с наибольшим размером зерен равным 20 мм насыпают в заранее взвешенный цилиндр объемом 10 литров с высоты 10 сантиметров до момента, пока не начнет образовываться конус. Затем, конус снимают вровень с краями без уплотнения щебня. После этого цилиндр со щебнем взвешивается. Насыпная плотность щебня вычисляется как отношение массы цилиндра со щебнем и объема цилиндра. Пустотность щебня имела приблизительно то–же значение, что и в предыдущих экспериментах, кроме того где в щебне изменялось соотношение фракций. Значение пустотности равнялось 43,4 %.

Для испытания отбиралась проба щебня в воздушно–сухом состоянии, массой 10 кг. Данная проба просеивалась через набор сит с отверстиями 5, 10 и 20 миллиметров, установленных друг под другом в порядке убывания.

Далее, определяются частные остатки на каждом сите, которые выражаются в процентах.

При проведении данного испытания был взят цемент ПЦ II/B–III 32,5 Н. В предыдущих испытаниях было установлено, что нормальная густота цементного теста на данном материале составляет 30,5 %, начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты. Цемент был взят в количестве 3,74 кг.

Дальнейший этап – замес бетонной смеси на компонентах с исходным составом и определение ее подвижности. В бетонную смесь также

изначально вводилась добавка СП–3 в количестве 0,2 % от массы вяжущего. Подвижность бетонной смеси определялась по осадке конуса. Готовая бетонная смесь укладывается в конус тремя слоями, каждый из которых штыкуется 25 раз металлическим штырем. После укладки последнего слоя, конус плавно снимается, переворачивается и ставится рядом с конусом из отформованной бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси измеряется от нижней поверхности стержня, расположенного на уровне металлического конуса, до поверхности бетонной смеси. Осадка конуса в данном случае составила 5,9 см. Следовательно, бетонная смесь имеет марку по подвижности П2. К этой марке относятся все бетонные смеси, которые имеют осадку конуса от 5 до 9 сантиметров включительно.

Из данной бетонной смеси были сформованы образцы–кубы размером 10х10х10 см для определения влияния изменения составов сырьевых материалов на прочность бетонного камня в возрасте 7 и 28 суток.

3.2.6 Бетонная смесь с применением щебня и песка из пунктов 3.2.4 и 3.2.5.

Первоначально, были определены свойства заполнителей:

- насыпная плотность песка;
- зерновой состав и модуль крупности песка;
- насыпная плотность щебня;
- зерновой состав щебня.

В данном эксперименте был использован щебень с измененным соотношением массовой доли фракций щебня. Фракции щебня 5–10 и 10–20 были взяты в количестве 60 и 40 % соответственно. Таким образом, количество фракции 5–10 составило 7,5 кг, а фракции 10–20 – 5,1 кг. При проведении исследований было установлено, что насыпная плотность щебня при таком соотношении фракций составила 1344 кг/м³. Таким образом, пустотность щебня составила 48,3 %.

Песок для эксперимента был взят с замененной фракцией 0,315 на фракцию 0,63 в соотношении 1:1. В связи с такими изменениями в составе

насыпная плотность песка составила 1231 кг/м³. Вычислив пустотность, используя насыпную плотность песка, было получено значение, равное 52,1%.

Все остальные материалы были взяты без каких-либо изменений, способных повлиять на свойства бетонной смеси.

При проведении эксперимента был взят цемент ПЦ II/B–III 32,5 Н. В предыдущих испытаниях было установлено, что нормальная густота цементного теста на данном материале составляет 30,5 %, начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты. Цемент был взят в количестве 3,74 кг.

Дальнейший этап – замес бетонной смеси на компонентах с исходным составом и определение ее подвижности. В бетонную смесь также изначально вводилась добавка СП–3 в количестве 0,2 % от массы вяжущего. Подвижность бетонной смеси определялась по осадке конуса. Готовая бетонная смесь укладывается в конус тремя слоями, каждый из которых штыкуется 25 раз металлическим штырем. После укладки последнего слоя, конус плавно снимается, переворачивается и ставится рядом с конусом из отформованной бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси измеряется от нижней поверхности стержня, расположенного на уровне металлического конуса, до поверхности бетонной смеси. Осадка конуса в данном случае составила 5,5 см. Следовательно, бетонная смесь имеет марку по подвижности П2. К этой марке относятся все бетонные смеси, которые имеют осадку конуса от 5 до 9 сантиметров включительно.

Из данной бетонной смеси были сформованы образцы–кубы размером 10x10x10 см для определения влияния изменения составов сырьевых материалов на прочность бетонного камня в возрасте 7 и 28 суток.

3.3 Результаты экспериментов

Изменяя состав сырьевых материалов в ходе каждого эксперимента, было отмечено, что их свойства также изменялись. В соответствии с

данными экспериментов можно отметить изменения пустотности и насыпной плотности заполнителей. Изменение пустотностей заполнителей по ходу каждого эксперимента приведено в таблице 11, а колебания насыпной плотности указаны в таблице 12.

Таблица 11 – Изменение пустотности заполнителей

Виды образцов	Пустотность, %	
	щебень	песок
1. Образцы на стандартных сырьевых материалах	42,3	45,5
2. Образцы с 20%-ным содержанием золы	43,1	45,9
3. Образцы с 50%-ным содержанием золы	42,8	44,9
4. Образцы с соотношением фракций щебня 60:40%	49,0	44,1
5. Образцы на песке с заменой фракции 0,315 на фракцию 0,63	43,4	52,1
6. Образцы с совместным применением щебня и песка из экспериментов №4 и №5	48,3	52,1

Графическое отображение изменения пустотности заполнителей показано на рисунке 13.

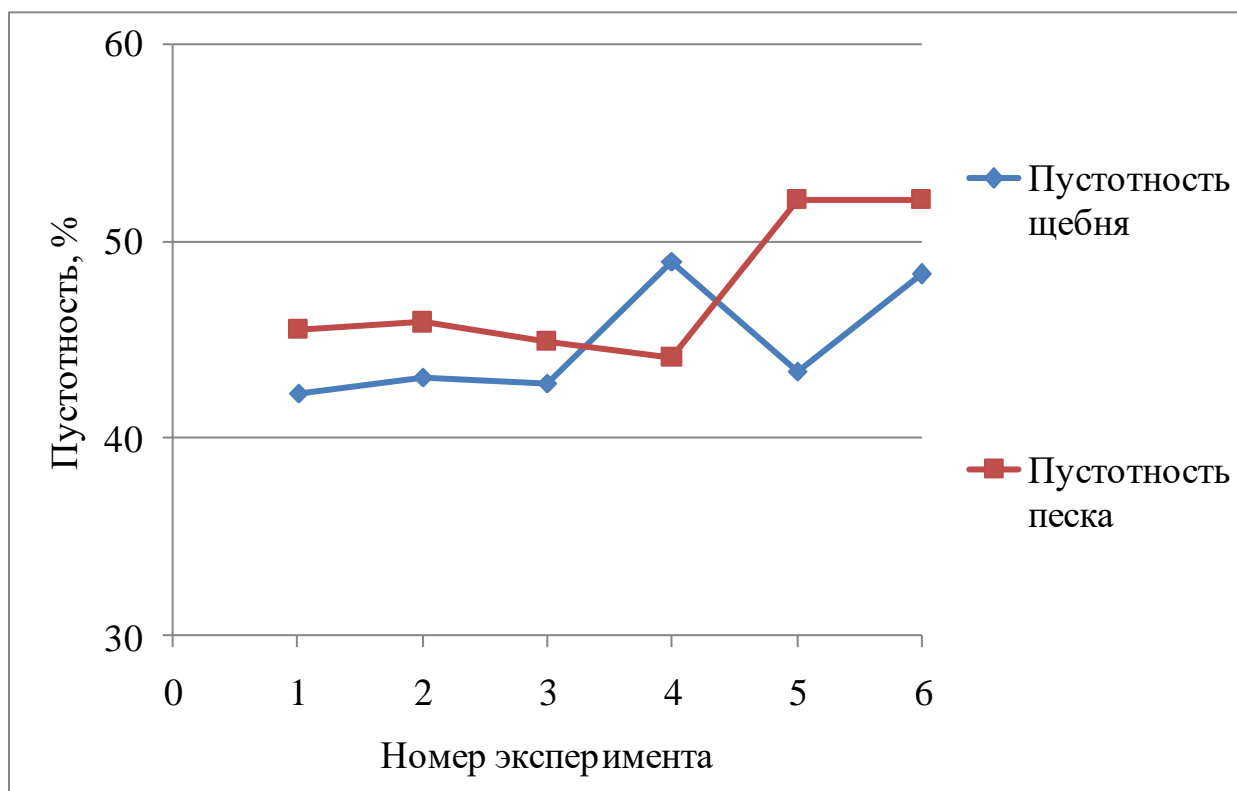


Рисунок 13 – График изменения пустотности щебня и песка

Таблица 12 – Изменение насыпной плотности заполнителей

Виды образцов	Насыпная плотность, кг/м ³	
	щебень	песок
1. Образцы на стандартных сырьевых материалах	1500	1400
2. Образцы с 20%-ным содержанием золы	1504	1398
3. Образцы с 50%-ным содержанием золы	1494	1395
4. Образцы с соотношением фракций щебня 60:40%	1340	1501
5. Образцы на песке с заменой фракции 0,315 на фракцию 0,63	1500	1230
6. Образцы с совместным применением щебня и песка из экспериментов №4 и №5	1344	1231

Графически изменение насыпной плотности щебня и песка в каждом эксперименте изображено на рисунке 14.

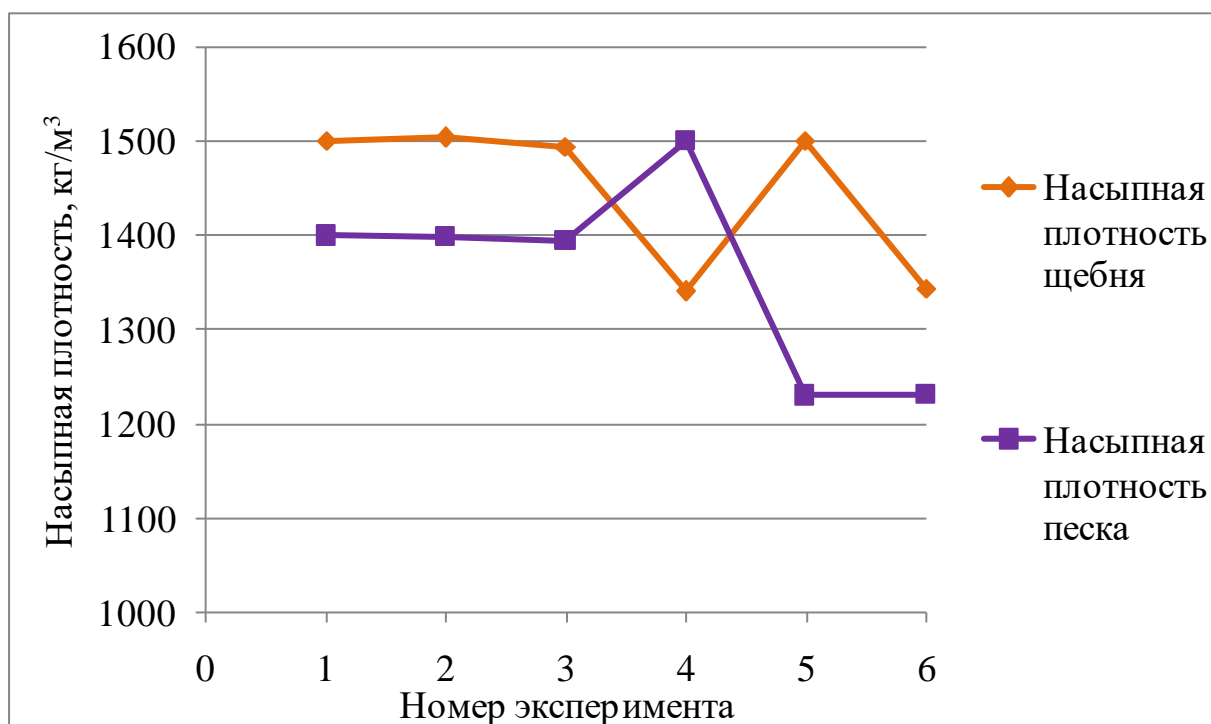


Рисунок 14 – График изменения насыпной плотности щебня и песка

После проведения всех экспериментов, описанных выше, были проведены испытания прочности на сжатие образцов-кубов в возрасте 7 и 28 суток. Результаты испытаний образцов приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты испытаний на прочность образцов в 7–суточном возрасте

Виды образцов	Прочность образцов, МПа
1. Образцы на стандартных сырьевых материалах	10,4
2. Образцы с 20%–ным содержанием золы	9,9
3. Образцы с 50%–ным содержанием золы	5,5
4. Образцы с соотношением фракций щебня 60:40%	8,4
5. Образцы на песке с заменой фракции 0,315 на фракцию 0,63	9,0
6. Образцы с совместным применением щебня и песка из экспериментов №4 и №5	9,3

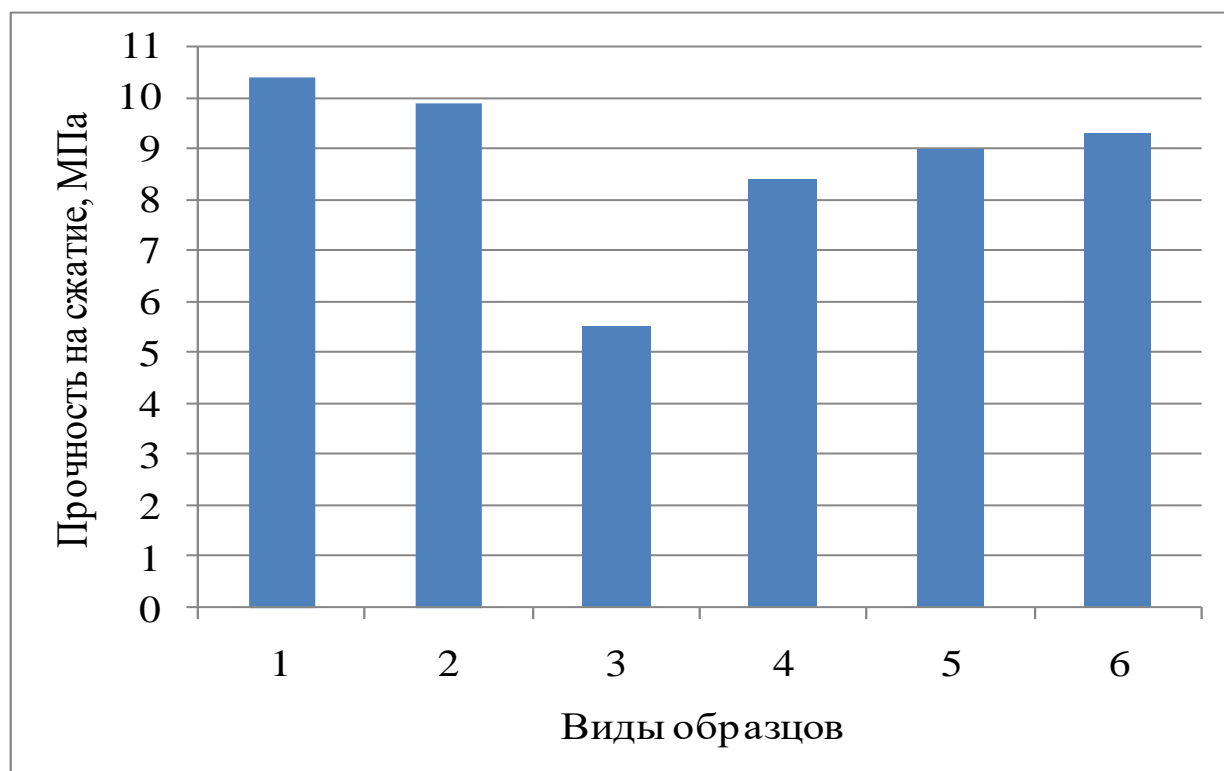


Рисунок 15 – Диаграмма прочности образцов после 7 суток твердения

Из данных диаграммы можно сделать следующие выводы:

1. Прочность образца на стандартных сырьевых материалах и прочность образца, где часть 20 % массы цемента была заменена золой, после 7 суток твердения имеют примерно одинаковую прочность.

2. Наименьшую прочность имеет образец с соотношением вяжущего вещества и золы–уноса 50:50 %.

3. Образцы, в которых менялись соотношения фракций заполнителей, и образец со смесью таких заполнителей показали приблизительно одинаковые результаты по прочности на сжатие.

Результаты испытаний прочности на сжатие у образцов в возрасте 28 суток приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты испытаний на прочность образцов в 28–суточном возрасте

Виды образцов	Прочность образцов, МПа
1. на стандартных сырьевых материалах	33,8
2. с 20%–ным содержанием золы	33,1
3. с 50%–ным содержанием золы	18,2
4. с соотношением фракций щебня 60:40%	28,1
5. на песке с заменой фракции 0,315 на фракцию 0,63	29,9
6. с совместным применением щебня и песка из экспериментов №4 и №5	30,9

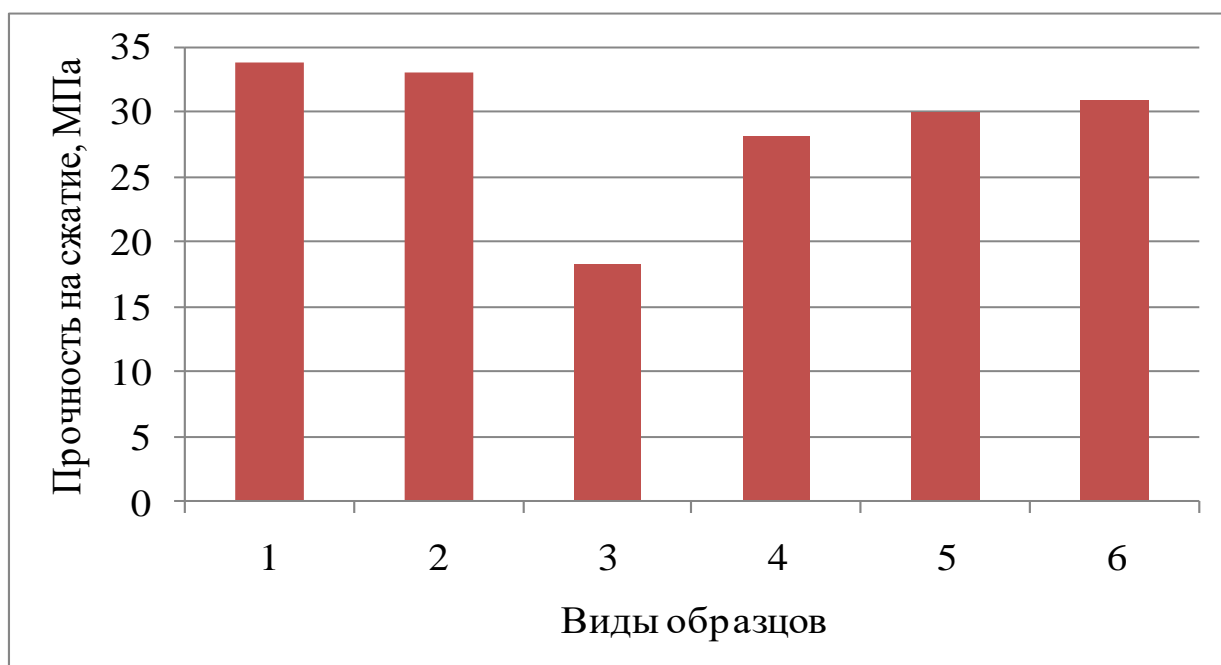


Рисунок 16 – Диаграмма прочности образцов после 28 суток твердения

По данным диаграммы можно заметить, что показатели прочности у бетона на сырьевых материалах без изменений в составе и бетона с

соотношением цемента и золы 80:20 %, также как и у кубов 7–суточного возраста, остались наибольшими среди других образцов и имеют почти одинаковые значения. Показатели прочности у образцов с измененными фракциями заполнителей также имеют приближенно равные значения. Наименее прочным образцом после 28 суток твердения так и остался куб из бетонной смеси, в которой соотношение цемента и золы составило 50:50 %.

Так как для изготовления лестничных маршей в основном используется бетон класса В25, то можно заключить, что замена цемента золой-унос в количестве примерно равном 20%, позволяет получить прочность, соответствующую данному классу бетона.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Получение прибыли и снижение себестоимости производства изделий являются основными задачами современных предприятий по изготовлению железобетонных изделий.

Изучая экономический аспект изготовления лестничных маршей можно выделить то, что затраты на сырье (цемент, заполнители, вода и т. д.), материалы для армирования изделий (арматурная сталь, закладные детали и т.д.) напрямую зависят от их расхода на единицу изделия, стоимости единицы сырья и материала, стоимости их обработки.

4.1 Расчет состава бетона

Таблица 15 – Характеристики сырьевых материалов бетона

Характеристики	Наименование показателей	Единицы измерения	Значения
Бетона	Требуемая прочность ($R_{тр}$)	МПа	32
	Коэффициент вариации прочности ($V_{п}$)	%	8
	Отпускная прочность	–	$0,7R_{тр}$
	Морозостойкость	Циклы	50
Бетонная смесь	Подвижность (ОК)	см	5...9
Цемент	Наименование (вид)	–	ПЦ
	Истинная плотность ($\rho_{ц}$)	г/см ³	3,0
	Активность ($R_{ц}$)	МПа	32,5
	Активность при пропаривании ($R_{ц}^n$)	МПа	$0,85R_{ц}$
	Нормальная густота (НГ)	%	30,5
Песка	Модуль крупности (M_k)	–	2,8
	Средняя плотность ($\rho_{ср}^n$)	г/см ³	2,57
	Насыпная плотность ($\rho_{нас}^n$)	г/см ³	1,4
Крупного заполнителя	Вид (горная порода)	–	щебень (гранит)
	Средняя плотность ($\rho_{ср}^{к3}$)	г/см ³	2,6
	Насыпная плотность ($\rho_{нас}^{к3}$)	г/см ³	1,5

4.1.1 Определение В/Ц

Водоцементное отношение определяется по следующей формуле:

$$В/Ц = \frac{0,23 \cdot R_{ц} + 10}{R_{тр} + 8} = \frac{0,23 \cdot 32,5 + 10}{30 + 8} = 0,46 \quad (6)$$

4.1.2 Определение расхода воды

Расход воды рассчитывается в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси и наибольшей крупности заполнителя с корректировкой:

а) если нормальная плотность цементного теста отличается от значений 26–28 % на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшают на 3–5 литров, в большую – увеличивают также на 3–5 литров;

б) если модуль крупности песка отличается от значения $M_k = 2,0$ в меньшую сторону на каждые 0,5 его величины требуется увеличивать, а в большую сторону – уменьшать расход воды на 3–5 литров.

Предварительный расход воды при подвижности 5–9 см и наибольшей крупности щебня 20 мм будет равен 200 литров на 1 м³.

С учетом корректировок расход воды составит:

$$В = 200 + 2 \cdot 4 + 0,5 \cdot 4 - 2,4 = 207,6 \text{ (л)} \quad (7)$$

Принимая во внимание то, что для повышения подвижности бетонной смеси в состав была введена добавка в количестве 0,2 % от массы цемента, расход воды составил:

$$В = 207,6 \cdot 0,75 = 155,7 \text{ (л)}$$

4.1.3 Определение расхода цемента

Расход цемента определяется как отношение расхода воды к водоцементному отношению:

$$Ц = \frac{В}{В/Ц} = \frac{207,6}{0,46} = 451,3 \text{ (кг)} \quad (8)$$

Допустимый расход цемента рассчитывается по следующей формуле:

$$Ц = 390 \cdot 1,03 \cdot 0,93 = 373,58 \text{ (кг)}, \quad (9)$$

где 390 кг – предельно допустимый расход цемента класса В25 с маркой по удобоукладываемости бетонной смеси П2;

1,03 – коэффициент изменения расхода цемента с учетом нормальной плотности цементного теста ($НГ = 30,5 \%$);

0,93 – коэффициент изменения расхода цемента с учетом его активности при пропаривании ($R_{пц}^n = 25,93$ МПа).

4.1.4 Определение расхода заполнителей

$$K_3 = \frac{1000}{\frac{\alpha \cdot V_{пуст}}{\rho_{K3}^{нас}} + \frac{1}{\rho_{K3}}} = \frac{1000}{\frac{1,46 \cdot 0,423}{1,5} + \frac{1}{2,6}} = 1255,75 \text{ (кг)} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Pi &= \left(1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + B + \frac{K_3}{\rho_{K3}} \right) \right) \cdot \rho_{п} = \\ &= \left(1000 - \left(\frac{373,6}{3,0} + 155,7 + \frac{1255,75}{2,6} \right) \right) \cdot 2,57 = 608,5 \text{ (кг)} \end{aligned} \quad (11)$$

4.1.5 Расход золы–унос

Так как 20 % массы цемента заменяется золой, то ее расход составит:

$$З = \frac{373,58}{100} \cdot 20 = 74,7 \text{ (кг)} \quad (12)$$

4.1.6 Расход добавки СП–3

$$Д = \frac{0,2 \cdot Ц}{100} = \frac{0,2 \cdot 373,58}{100} = 0,75 \text{ (кг)} \quad (13)$$

Расход всех сырьевых материалов для бетонной смеси представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Расход сырьевых материалов

№ состава	Сырьевые материалы					
	Цемент	Зола	Песок	Щебень	Вода	СП–3
1	373,58	–	608,5	1255,75	155,7	–
2	298,88	74,7	608,5	1255,75	155,7	0,6
3	185,79	185,79	608,5	1255,75	201,6	0,37
4	390,64	–	608,5	1255,75	155,7	0,78
5	388,11	–	608,5	1255,75	155,7	0,78
6	402,4	–	608,5	1255,75	203,5	0,8

4.2 Сравнение стоимости состава бетонной смеси для лестничных маршей и предложенного состава

Стоимость материалов для данного состава бетонной смеси рассчитывается как произведение стоимости килограмма материала на его расход. Общая стоимость всех материалов приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Стоимость 1 м³ бетонной смеси

Состав	1	2	3	4	5	6
Цена, руб.	3195,36	2572,04	1945,78	2947,03	2933,27	3014,46

Стоимость товарного бетона в Челябинской области варьируется от 3000 до 3500 рублей за 1 кубический метр.

Таким образом, можно сделать вывод, что введение золы–унос в бетонную смесь в количестве 20 % от массы цемента, позволяет снизить стоимость бетонной смеси более чем на 25 %. При этом введение золы–унос практически не влияет на показатель прочности бетона в возрасте 28 суток. Состав с содержанием золы в количестве 50 % от массы цемента значительно снижает стоимость бетонной смеси, но показатели прочности бетона на таком составе намного меньше значения требуемой прочности. Остальные составы позволяют снизить стоимость бетонной смеси, но по результатам испытаний значения прочностей образцов, изготовленных на этих составах, не соответствуют значению требуемой прочности.

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Главная задача в области охраны труда – это сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Соблюдение требований законодательства в области охраны труда является важной и неотъемлемой частью общей системы управления деятельностью предприятия залогом стабильности и улучшения экономического положения и благополучия всех сотрудников.

Цели предприятия в области охраны труда:

- обеспечение безопасности и здоровья сотрудников в процессе трудовой деятельности;
- гарантии прав работников на охрану труда;
- предупреждение травм, чрезвычайных ситуаций, аварий, заболеваний, вызываемых профессиональной деятельностью;
- неукоснительное исполнение требований охраны труда работодателем и работниками, ответственность за их нарушение и несоблюдение.

Основные задачи предприятия в области охраны труда:

- создание условий, обеспечивающих соблюдение законодательства по охране труда, в том числе обеспечение безопасности эксплуатации зданий и сооружений, используемых в трудовом процессе оборудования, приборов и технических средств;
- повышение эффективности производственного контроля над соблюдением требований охраны труда и безопасности на предприятии;
- обеспечение доступа к достоверной информации о состоянии условий и охраны труда;
- повышение уровня ответственности и обеспечение вовлеченности каждого работника, независимо от его профессии или должности в соблюдение обязанностей в области охраны здоровья и безопасности труда;

– обучение и проверка знаний по охране труда, в том числе, создание и совершенствование непрерывной системы образования в области обеспечения охраны труда;

– обеспечение снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов, которые могут нанести ущерб жизни и здоровью работников, путем применения современных средств коллективной и индивидуальной защиты, создания оптимальных режимов труда и отдыха;

– разработка и реализация программ, направленных на предупреждение и предотвращение несчастных случаев и профессиональных заболеваний;

– реализация компенсационных мер, направленных на возмещение работникам ущерба, нанесенного воздействием неблагоприятных условий труда, осуществление реабилитации работников при несчастных случаях на производстве и в случае профессиональных заболеваний, реализация для работников специальных программ оздоровления и санаторно-курортного лечения.

Охрана труда является системой законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда. Право на безопасный труд закреплено в Конституции Российской Федерации. В области охраны труда на предприятиях и в учреждениях основными законодательными актами являются Трудовой кодекс РФ, Гражданский кодекс РФ, Федеральный закон от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации", а также акты, собранные в системе стандартов безопасности труда (ССБТ). На рисунке 15 представлена структура документации по охране труда.



Рисунок 15 – Структура законодательной и нормативной документации по охране труда

Ответственность за организацию и руководство работой по охране труда, а также ответственность за состояние работы по охране труда на предприятии возлагается на руководителя (директора, начальника, управляющего) и главного инженера предприятия.

5.1 Вредные и опасные производственные факторы

При выполнении работ, связанных с производством цемента (далее — работы), на работников возможно воздействие вредных и (или) опасных производственных факторов, в том числе [53, с. 2-3]:

1. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны.
2. Запыленность воздуха рабочей зоны.
3. Повышенная загазованность воздуха рабочей зоны.
4. Повышенная или пониженная влажность воздуха рабочей зоны.
5. Недостаточная освещенность рабочей зоны.

6. Повышенный уровень шума на рабочих местах.
7. Повышенный уровень вибрации на рабочих местах.
8. Физические и нервно-психические перегрузки.
9. Движущиеся транспортные средства, грузоподъемные машины, перемещаемые материалы.
10. Подвижные части оборудования и инструмента.
11. Острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности оборудования, инструмента.
12. Падающие предметы (элементы оборудования) и инструмент.
13. Расположение рабочих мест на значительной высоте (глубине) относительно поверхности пола (земли).
14. Замыкание электрических цепей через тело человека.

5.2 Нормативные значения факторов рабочей среды

5.2.1 Микроклимат рабочей зоны

На микроклимат рабочей зоны оказывают влияние следующие показатели:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [54, с. 23]. Сегодня заводы по производству сухих строительных смесей являются высоко автоматизированными и механизированными предприятиями и согласно ГОСТ 12.1.005 работы на таком предприятии относятся к категории работ средней тяжести класса Па, интенсивность энергозатрат 151-200 ккал/ч (175-232 Вт).

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в производственном помещении указаны в таблице 18.

Таблица 18 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая
холодный	средней тяжести Па	18-20	15-23	40-60	75	0,2	Не более 0,3
теплый	средней тяжести Па	21-23	17-27	40-60	65 (при 26 °С)	0,3	0,2-0,4

Производство комплексного модификатора относится к производствам с условиями труда средней тяжести в связи, с чем системы отопления и вентиляции на данных предприятиях служат для создания необходимого микроклимата и контролируются нормативным документом СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [55].

5.2.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При работе с дисперсными строительными материалами в процессе дозирования, а также перемешивания возможно образование пыли.

Предотвращать запыленность воздуха на предприятии позволяет система естественной вентиляции, соответствующая требованиям СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [55]. Кроме этого все оборудование, связанное с работой с сухими компонентами, должно быть герметично, должны использоваться системы пылеудаления и

очистки, также должна производиться регулярная уборка пыли с использованием средств механизации.

Пыль является аэродисперсной системой, в которой частицы пыли, находясь в твердом состоянии, имеют размеры от десятых долей миллиметра до долей микрометра. В связи, с чем все рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания, а также очками. Кроме того, работники должны соблюдать меры личной гигиены такие, как ношение рабочей одежды, мытье рук перед приемом пищи, прием пищи в специально отведенных помещениях.

5.2.3 Освещение рабочей зоны

Нормирование производственного освещения ведется по СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [56]. На предприятии по производству комплексной добавки предусмотрено, как и естественное, так и искусственное освещение, для обеспечения равномерного распределения яркости используется комбинированное освещение.

Естественное освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах цеха, искусственное освещение обеспечивается при помощи нескольких блоков люминесцентных ламп.

Естественное и искусственное освещение на предприятии должно соответствовать нормам, указанным в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий» [57].

5.2.4 Шум на рабочем месте

На производстве комплексной источником шума является оборудование. Интенсивное шумовое воздействие вызывает в слуховом анализаторе изменения, составляющие специфическую реакцию организма. При длительном воздействии шума формируется повышение слуховых порогов, сначала медленно возвращающееся к исходному уровню (слуховое утомление), а затем сохраняющееся к началу очередного шумового воздействия (постоянное смещение порога слуха).

Шум является общебиологическим раздражителем и оказывает влияние не только на слуховой аппарат, но и на структуры головного мозга. Шум на рабочем месте вызывает вегетативные реакции организма, такие как нарушение периферического кровообращения, а также повышение артериального давления.

Некоторые неблагоприятные проявления воздействия шума на организм рабочего:

- снижение разборчивости речи;
- неприятные ощущения;
- развитие утомления и снижение производительности труда;
- появление шумовой патологии.

Гигиеническое нормирование шумов регламентируют ГОСТ 12.1.003 – 2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [58], СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [59].

Для борьбы с шумом на предприятии необходимо использовать шумобезопасную технику, средств и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029 – 88 [60], а также средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.275 – 2014 [61].

5.2.5 Вибрация на рабочем месте

По источнику возникновения вибраций различают:

– локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;

– локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей), например, рихтовочных молотков разных моделей и обрабатываемых деталей;

– общую вибрацию 1 категории - транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и

дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны); автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т.д.); снегоочистители, самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт;

– общую вибрацию 2 категории – транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

– общую вибрацию 3 категории - технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др. [61, с. 3].

При производстве бетонных смесей чаще всего рабочие подвергаются воздействию локальной вибрации. Допустимые нормы такой вибрации приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X _л , Y _л , Z _л			
	для виброускорения		для виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109

Методами снижения и борьбы с вибрацией являются:

– ослабление вибрации в источнике их образования путем применения конструктивных, технологических и экспериментальных решений (технический метод);

– снижение интенсивности вибраций на пути их распространения (технологический метод).

Устранение причин возникновения вибрации в машинах и механизмах конструктивными и технологическими решениями является наиболее рациональной мерой (устранение дисбаланса, люфтов, зазоров, замена одних механизмов на механизмы других видов и т.д.). Ослабление вибрации в источнике их образования осуществляется при изготовлении оборудования.

Снижение интенсивности вибрации на пути распространения может осуществляться демпфированием, динамическим гашением и виброизоляцией.

Виброизоляция – этот способ защиты от вибрации, заключается в уменьшении передачи вибрации от источников возбуждения защищаемому

объекту при помощи дополнительных устройств путем упругой связи - фундаментов и виброизоляторов, помещаемых между ними. Эта упругая связь может использоваться для ослабления передачи вибрации от основания на человека либо на защищаемый агрегат.

Вибродемпфирование – это уменьшение уровня вибрации защищаемого объекта за счет перевода энергии механических колебаний колеблющейся системы в тепловую энергию.

Динамическое гашение – ослабление колебаний с помощью присоединения к системе дополнительной колебательной системы, собственная частота, которой настроена, на основную частоту агрегата. В этом случае путем подбора массы и жесткости виброгасителя удается понизить уровень вибрации.

5.3 Безопасность производственных процессов и оборудования

Согласно статье 212 главы 34 Трудового кодекса РФ обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя.

Работодатель обязан обеспечить:

– безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;

– создание и функционирование системы управления охраной труда;

– применение прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке средств индивидуальной и коллективной защиты работников;

– соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте;

– режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права;

– приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;

– обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда;

– недопущение к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение и инструктаж по охране труда, стажировку и проверку знаний требований охраны труда;

– организацию контроля за состоянием условий труда на рабочих местах, а также за правильностью применения работниками средств индивидуальной и коллективной защиты;

– проведение специальной оценки условий труда в соответствии с законодательством о специальной оценке условий труда.

На предприятии должны быть выполнены следующие мероприятия, обеспечивающие безопасность производственных процессов:

– к работе допускаются только лица, прошедшие инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний;

– конструкции производственного оборудования должны исключать опасные составляющие. Работник перед началом работы обязан проверить состояние и исправность оборудования;

– размеры рабочего места и размещение его элементов должны соответствовать нормативным требованиям;

– к работе допускается работник в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты;

– на территории производственного цеха запрещено находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по технике безопасности.

Правила безопасной эксплуатации производственного оборудования должны соответствовать требованиям СНиП 12–03–2001 «Безопасность труда в строительстве» пункт 7.3 Требования безопасности при эксплуатации стационарных машин [62].

5.4 Электробезопасность

Электробезопасность в производственном цехе обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами индивидуальной и общей защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Безопасная эксплуатация электрических установок, работающих должна соответствовать ГОСТ 12.1.019 – 2017 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты» [63]. При производстве комплексной добавки используют конструктивные меры защиты – зануление, заземление, системы защитного отключения и другие. Согласно ГОСТ 12.1.030 – 81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [64] заземление можно производить к естественным и искусственным видам заземлителей.

При использовании напряжения свыше 36 вольт должно обеспечиваться ограждение проводов и токоведущих частей. Значения ПДУ

напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном режиме электроустановок для постоянного и переменного тока должны соответствовать нормативным значениям указанным в ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [65].

5.5 Пожаробезопасность

Противопожарная защита достигается использованием средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники: огнетушителей, пожарного инвентаря. Все средства пожаротушения должны находиться в исправном состоянии в доступных местах. На производстве источниками пожара может быть электрическое оборудование и легковоспламеняющиеся материалы.

Общие требования к пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004 – 91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [66].

Предприятие по производству сухих смесей относится к категории «Д» по пожароопасности и должно быть обязательно оснащено системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, а также первичными средствами защиты от пожара. Кроме того, все работники в обязательном порядке проходят вводный инструктаж по правилам пожарной безопасности перед допуском к работе.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Заполнители занимают большую часть объема бетона. Их размер, градация, форма и текстура поверхности оказывают существенное влияние как на свойства бетонной смеси, так и затвердевшего бетона.

2. Прочность бетона зависит от прочности составляющих его материалов и от прочности сцепления их друг с другом. Прочность заполнителя (песка, щебня, гравия) в тяжелом бетоне, как правило, выше заданной прочности бетона, поэтому мало влияет на нее.

3. Добавки суперпластификаторы оказывают существенное влияние на реологию бетонных смесей: они уменьшают предельное напряжение сдвига и пластическую вязкость.

4. Мелкий заполнитель включает в себя зерна разного размера. Зерна меньшего размера должны располагаться в пустотах между крупными зернами заполнителя, тем самым, уменьшая объем пустот и повышая прочность бетона.

5. Качество песка, который используется для изготовления бетона, характеризуется минеральным составом (кварц, полевой шпат, кальцит, слюда и др.), смесью фракций (песок крупной, средней и мелкой фракции) и наличием в нем вредных примесей.

6. Форма зерен щебня – угловатая и имеет более шероховатую поверхность по сравнению с зернами гравия. Именно этот фактор является определяющим в сцеплении зерен гравия и щебня с цементным камнем. Благодаря своей форме, щебень лучше с ним сцепляется.

7. Зерновой состав крупного заполнителя оказывает заметное влияние на водопотребность бетонных смесей и, следовательно, косвенно влияет на прочность бетона. Объем пустот в крупном заполнителе должен быть возможно меньшим, так как при этом снижается потребность в цементно-песчаном растворе.

8. Изменение фракций заполнителей приводит к понижению или повышению пустотности самих заполнителей, что также служит фактором снижения или увеличением прочности бетона.

9. Частичная замена сырьевых материалов бетонной смеси на другие материалы с аналогичными свойствами, но имеющих меньшую стоимость, дает возможность снизить стоимость производства железобетонных изделий.

10. Получен состав сырьевых материалов, требующихся приготовления для бетонной смеси, который позволяет снизить ее стоимость до 25 % .

11. Введение в состав бетонной смеси такого материала, как зола–уноса в количестве 20 % от массы цемента, снижает ее подвижность, но никак не влияет на прочность бетонного камня.

12. Введение золы-уноса в количестве 50 % от массы цемента приводит к значительному понижению прочности бетонного камня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 9818 – 2015 «Марши и площадки лестниц железобетонные. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 23 с.
2. ГОСТ 13015 – 2012 «Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 23 с.
3. ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1987. – 8 с.
4. ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 11 с.
5. ГОСТ 30515–2013 «Цементы. Общие технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 37 с.
6. ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 7 с.
7. ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1993. – 11 с.
8. ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1983. – 31 с.
9. ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2012. – 11 с.
10. ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2010. – 11 с.
11. ГОСТ 10181–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2015. – 23 с.
12. ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2013. – 30 с.

13. Охотин В.В. Лабораторные опыты по составлению дорожных грунтовых смесей по принципу наименьшей пористости [Электронный ресурс] – М.: «Транспечать», 1929. – Режим доступа: <https://okhotin-grunt.ru/VVO/7.pdf>. – (Дата обращения: 20.05.2019)

14. Туляганов, А.К. Технические науки в мире: от теории к практике/ А.К. Туляганов, Л.В. Ильина // Влияние крупности песка на прочность раствора: сб. науч. тр. науч. – практич. конф. – Ростов–на–Дону, 2017. – 52 – 54 с.

15. Курбатов, В. Л. Влияние загрязняющих примесей в заполнителях на свойства бетонных смесей и бетонов / В. Л. Курбатов [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 9. – с. 34–41.

16. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во «АСВ», 2002. – 500 с.

17. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков – М.: «Стройиздат», 1990. – 396 с.

18. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер – М.: «Стройиздат», 1979. – 344 с.

19. Фаликман, В.Р. Поликарбосилатные гиперпластификаторы: вчера, сегодня, завтра / В.Р. Фаликман // Популярное бетоноведение. – 2009. – № 2 (28). – с. 86–90.

20. Коротков, С. Н. Пути экономии энергоресурсов при производстве железобетона / С. Н. Коротков // Бетон и железобетон. – 1982. – №3. – с. 2–3.

21. Добавки в бетон: справ. пособие / В. С. Рамачандран [и др.]. – под ред. В. С. Рамачандрана, А. С. Болдырева, В. Б. Ратинова. – пер. с англ. Т. И. Розенберг, С. А. Болдырева. – М.: «Стройиздат», 1988. – с. 575.

22. Свойства бетона / А. М. Невилль. – пер. с англ. В. Д. Парфенов В.Д., Якуб Т.Ю. – М.: «Стройиздат», 1972. – с. 344.

23. Сизов, В. П. Проектирование состава тяжелого бетона / В. П. Сизов. – М.: «Стройиздат», 1979. – с. 145.

24. Киреенко, И. А. Проектирование состава бетона / И. А. Киреенко. – Киев: «Госстройиздат УССР», 1961. – 79 с.
25. Шестоперов, С. В. Долговечность бетона транспортных сооружений / С. В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966. – 500 с.
26. Ли Ф. М. [Lea F. M.] Химия цемента и бетона: пер. с англ. Левман Б. С. – М.: «Госстройиздат», 1979. – 645 с.
27. Чеховский, Ю.В. Понижение проницаемости бетона. / Ю. В. Чеховский – М.: «Энергия», 1968. – 192 с.
28. Штаерман, Ю.А. Плотный бетон на многофракционном заполнителе / Ю. А. Штаерман, Д. Н. Тевтзадзе. – Тбилиси: Изд-во «Сабчота Сакартвелო», 1967. – 212 с.
29. Ахвердов, И. Н. Физика твердого тела / И. Н. Ахвердов / Физика твердого тела: учебн. – метод. пособие / И. Н. Ахвердов. – М.: БГПА, 1996. – 102 с.
30. Баженов, Ю. М. Технология бетона: учеб. пособие / Ю. М. Баженов – М.: Изд-во «АСВ», 2003. – 500 с.
31. Рыбьев, И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ / И. А. Рыбьев // Искусственные строительные конгломераты: учебн. пособ. для бакалавров. – М.: «Высшая школа», 1978. – 310 с.
32. Баженов, В. К. Технология бетона / Баженов В. К. Применение бетона и железобетона в строительстве: учеб. пособие для техн. спец. строит. вузов / В. К. Баженов, А. Х. Тайзитдинов, Т. П. Щерблыкина. – Л.: Типография ДДНТП, 1981. – с.10 – 14 с.
33. Боженков, П. И. Технология автоклавных материалов: учебное пособие / Боженков П. И. – Л.: «Стройиздат», 1978. – 368 с.
34. Кудряков, А. И. Совершенствование строительного производства / А. И. Кудряков // Метод расчета гранулометрического состава заполнителей твердеющей композиции. – Томск: изд-во Томского университета, 1981. – с. 3–7.

35. Шмигальский В. Н. Бетон и железобетон / В. Н. Шмигальский // Разработка единого метода подбора состава бетона. – М. – 1964. – № 2. – с. 87–89.

36. Москвин, В. Н.. Подбор состава бетона с учетом поверхности и пустотности заполнителей. / В. Н. Москвин // Исследования. Бетоны и вяжущие / В. Н. Москвин, Б. Д. Тринкер. – М.: «Госстройиздат», 1955. – с. 150 – 167.

37. Технологии изготовления железобетонных изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroyilians.ru/article/tehnologii-izgotovlenija-zhelezobetonnyh-izdelij/>. – «Стройальянс». – (Дата обращения: 28.05.2019).

38. Крупные заполнители [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://betony.ru/materialy/krupnie-zapolnitely.php>. – (Дата обращения: 10.04.2019).

39. Мелкие заполнители [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://betony.ru/materialy/melkiy-zapolnitel.php>. – (Дата обращения: 14.04.2019).

40. Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/522>. – «Вестник томского государственного архитектурно–строительного института». – (Дата обращения: 25.05.2019).

41. Влияние крупного заполнителя на прочность бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uralzsm.ru/Spravochnik/Vliyanie-krupnogo-zapolnitelya-na-prochnost-betona>. – «Уральский завод строительных материалов». – (Дата обращения: 13.03.2015).

42. Влияние крупного заполнителя на прочность бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/beton-5/94.htm>. – «Свойства бетона». – (Дата обращения: 28.05.2019).

43. Свойства бетона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://provse.news/zdaniy-stroitelstvo/svoystva-betona.html>. – «ProVse.News». – (Дата обращения: 28.05.2019).

44. Techniques of staircase construction. Technical and Design Instructions for stairs made of wood, steel, concrete and natural stone. Available at: [https://www.academia.edu/31442442/TECHNIQUES_OF_STAIRCASE_CONSTRUCTION Technical and Design Instructions for Stairs Made of Wood Steel Concrete and Natural Stone](https://www.academia.edu/31442442/TECHNIQUES_OF_STAIRCASE_CONSTRUCTION_Technical_and_Design_Instructions_for_Stairs_Made_of_Wood_Steel_Concrete_and_Natural_Stone) (accessed 2 March 2019).

45. Physical and mechanical properties of concrete using residual powder from organic waste as partial cement replacement (2018). Available at: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000300229&lng=en&nrm=iso&tlng=en (accessed 30 April 2019).

46. Effect of Mineral Additives on Some of Durability Parameters of Concrete (2007). Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01008100/document> (accessed 2 May 2019).

47. Improving Quality of High Performance Concrete by Cavitation Treatment of the Raw Materials (2013). Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813008096> (accessed 16 March 2019).

48. Effect on strength properties of concrete by partial replacement of cement with calcium bentonite and fly ash (2017). Available at: https://www.researchgate.net/publication/317012053_Effect_on_strength_properties_of_concrete_by_partial_replacement_of_cement_with_calcium_bentonite_and_fly_ash (accessed 14 April 2019).

49. Influence of additives on flexural strength of concrete (2017). Available at: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/30/mateconftrs2017_01019.pdf (accessed 13 February 2019).

50. Index of Aggregate Particle Shape and Texture of coarse aggregate as a parameter for concrete mix proportioning (2016). Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884604001139> (accessed 23 April 2019).

51. Concrete Technology (2006). Available at: <https://www.cement.org/learn/concrete-technology> (accessed 15 March 2019).

52. Concrete Technology Theory and Practice. Available at: <http://www.freepdfbook.com/concrete-technology-theory-and-practice/> (accessed 17 April 2019).

53. «Правила по охране труда при производстве цемента.» – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. — 80 с.

54. ГОСТ 12.1.005–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» – М.: Изд–во ФГУП «Стандартинформ», 1988. – 48 с.

55. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» – М.: Изд–во «Аналитик», 2012. – 75 с.

56. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» – М.: «Минстрой России», 2016. – 102 с.

57. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» – М.: Изд–во Госкомсанэпиднадзора России, 2003. – 42 с.

58. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» – М.: Изд–во ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 23 с.

59. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» – М.: Информационно–издательский центр Минздрава России, 1996. – 21 с.

60. ГОСТ 12.1.029–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация» – М.: ИПК Издательство стандартов, 1988. – 4 с.

61. ГОСТ 12.4.275-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Методы испытаний» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 35 с.

62. СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 42 с.

63. ГОСТ 12.1.019 – 2017 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2018. – 15 с.

64. ГОСТ 12.1.030-81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1981. – 24 с.

65. ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1983. – 7 с.

66. ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1992. – 64 с.

67. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» – М.: «Минздрав России», 1997. – 22 с.

68. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества. (Технология и свойства): учебник для вузов / А. В. Волженский, Ю.С Буров, В.С. Колокольников. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во «Стройиздат», 1979. – 476 с.

69. Френкель, И. М. Основы технологии тяжелого бетона / И.М. Френкель. – М.: Изд-во «Стройиздат», 1966. – 148 с.

70. Исследование свойств цементных систем с комплексными наполнителями / Н. М. Морозов [и др.] // Вестник технологического университета. – 2015. – № 7. – с. 22–26.

71. Ипполитов, Е. Н. Исследование некоторых свойств песчаного бетона на смешанном портландцементе и заполнителе прерывистого зернового состава / Е. Н. Ипполитов // Труды Всесоюзного заочного политехнического института: сб. трудов. – М.: «Всесоюзный заочный политехнический институт, 1978. – вып. 110. – с. 28–32.

72. Скрамтаев, Б. Г. Способы определения состава бетона различных видов / Б. Г. Скрамтаев, П. Ф. Шубенкин, Ю. М. Баженов. – М.: «Стройиздат», 1966. – 160 с.

73. Скрамтаев, Б. Г. Испытание прочности бетона в образцах, изделиях и сооружениях / Б. Г. Скрамтаев, М. Ю. Лещинский. – М.: «Стройиздат», 1964. – 176 с.

74. Скрамтаев, Б. Г. Влияние условий испытания на кубиковую прочность бетона и раствора / Б. Г. Скрамтаев // Скрамтаев Б. Г. Методика испытания бетонных образцов на сжатие / Б. Г. Скрамтаев, Ю. М. Баженов, П. Ф. Шубенкин. – М.: «Госстройиздат», 1963. – с.8 – 13.

75. Кудяков, А. И. Проектирование и использование заполнителей с оптимальной межзерновой пустотностью в бетоне / А. И. Кудяков, А. Г. Смирнов, Г. Г. Петров // Известия вузов. – 1987. – №7. – с. 135 – 138.

76. Кудяков, А. И. О расчете гранулометрического состава заполнителей с учетом реальной формы зерен / А. И. Кудяков, А. Г. Смирнов // Резервы производства строительных материалов: межвуз. сб. трудов. – Барнаул: изд-во АПИ, 1984. – с. 7–8.

77. Коношев, В. Д. Влияние крупности заполнителя и геометрических размеров образцов на прочность бетона / В. Д. Коношев // Способы строительства и материалы, применяемые при нефтегазостроительстве в условиях севера. – М., 1980. – с.51–58.

78. Квирикадзе, О. П. Влияние размеров образцов-кубов на прочностные характеристики бетонов / О. П. Квирикадзе – Тбилиси: «Сабчота Сакартвелო», 1974. – 53 с.