

АННОТАЦИЯ

Бухаров Г.А. Применение тонкомолотой извести кипелки при производстве бетонных изделий – Челябинск: ЮУрГУ, СМиИ, 2020, 84 с., 8 ил., 15 табл.

Библиографический список – 63 наименований.

В выпускной квалификационной работе представлен комплекс исследований, направленных на возможность добавления негашеной извести в бетонную смесь. Проведен литературный обзор и предварительные эксперименты. Подобраны оптимальные дозировки извести кипелки, позволяющие получить экономически целесообразный состав для тяжелого бетона.

					08.03.01.2020.203.00.00.ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Бухаров Г.А.			Применение тонкомолотой извести кипелки при производстве бетонных изделий	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		Бутакова М.Д.				ВКР	4	84
<i>Нормоконтр.</i>		Черных Т.Н.				ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «Строительные материалы и изделия»		
<i>Зав. каф.</i>		Орлов А.А.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	10
1.1 Сырье для приготовления бетонной смеси.....	10
1.1.1 Вяжущее вещество	10
1.1.2 Заполнители.....	12
1.2 Свойства негашеной извести как гидратационного вяжущего вещества	17
1.2.1 Сроки схватывания извести	17
1.2.2 Химическое связывание воды при гидратационном твердении известки	17
1.2.3 Теплота гидратации извести	18
1.2.4 Дисперсность негашеной молотой извести и прочность продуктов ее твердения	19
1.3 Представление о механизме твердения негашеной извести	20
1.4 Взаимодействие негашеной извести и соляной кислоты с последующим получением тяжелого бетона.....	27
1.5 Взаимодействие молотой извести кипелки в качестве интенсификатора твердения тяжелого бетона.....	31
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ	36
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ	37
2 СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	38
2.1 Требования к сырью.....	38
2.1.1 Технические требования к сырью	38
2.2 Физикомеханические методы испытаний.....	41

2.3 Дериватографический анализ	42
2.4 Определение достоверности эксперимента	45
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	48
3.1 Определение эффективности добавки негашеной извести	48
3.2 Дериватографический анализ	54
ВЫВОД ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ	60
4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	61
4.1 Расчет состава бетонной смеси	61
4.1.1 Определение Ц/В	62
4.1.2 Определение расхода воды	62
4.1.3 Расход цемента	63
4.1.4 Абсолютный объем заполнителей	63
4.1.5 Количество мелкого заполнителя (песка)	63
4.1.6 Количество крупного заполнителя:	63
4.1.7 Количество извести	63
4.1.9 Расход всех сырьевых материалов для бетонной смеси.	63
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	65
5.1 Вредные и опасные производственные факторы.	67
5.2 Значения факторов рабочей среды	68
5.2.1 Микроклимат рабочей среды	68
5.2.2 Запыленность и загазованность рабочего пространства	69
5.2.3 Освещение рабочего места	70
5.2.4 Шум в рабочем пространстве	70
5.2.5 Вибрации в рабочем пространстве	71
5.3 Безопасность производства и оборудования	73

5.4 Электробезопасность	75
5.5 Пожаробезопасность	76
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	77
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	79

ВВЕДЕНИЕ

Процесс гидратационного твердения извести достаточно обоснованный для современной стадии развития науки и отвечает понятиям физики и химии. Данный процесс представляет собой твердение извести из-за перекристаллизации окиси кальция после вступления в реакцию негашеной извести, то есть окиси кальция, и воды. Несмотря на обоснованность гидратационного твердения, оно вызвало множество негодования и непонимания: профессионалы, а в частности строители и технологи, винили сторонников этого процесса в глупости и пренебрежении практическими знаниями. Это связано с тем, что на протяжении многих лет применялся процесс карбонатного твердения извести, отступить от которого многие не готовы.

Выделяемая в процессе гашения извести теплота, действительно, иногда бывает выгодна, а именно во время строительства и штукатурных работ зимой, при гидротермальной обработке материалов для строительства. Однако же недавно было обнаружено то, что именно это тепло – помеха при осуществлении процесса гидратационного твердения извести в чистом виде. В действительности, экзотермические процессы и совокупные с ними температурные напряжения проявляются не только во время гидратации извести, но и во время быстро идущей реакции гидратационного твердения цемента в бетоне. Именно с этим связана установка лимита на размер блоков, используемых при постройке огромных гидротехнических объектов. Контакт воды и извести ведет к выделению огромного количества тепла, большому термическому напряжению. При этом процессе испаряется много воды, а водяной пар разрушает выстраиваемую постепенно кристаллическую структуру. Единственным способом противостоять этому развалу структуры при простом техническом оснащении в привычных условиях является установление высоких значений водоизвестковых отношений.

Однако этот подход обладает своими минусами. Он приводит к уменьшению стойкости и прочности вещества из-за большого количества пор.

Тот факт, что при гашении извести происходит выделение большого количества теплоты, при некоторых обстоятельствах очень важен. Это выгодно, к примеру, при изготовлении строительных материалов и строительстве в зимний сезон. Несмотря на это, у выделения тепла при гидратации извести есть и другая, отрицательная сторона. Особенно ярко она проявляется, если нужно произвести прочный материал в условиях низкого водоизвесткового фактора в летний сезон. Таким образом, важно соблюсти определенное водоизвестковое отношение молотой негашеной извести с той целью, чтобы температура гашения не увеличивалась очень резко. Если же не выполнить это требование, вещество будет терять свою целостность, разрушаться из-за повышенного давления образовавшегося водяного пара, материал не сцепится. Выделение большого количества водяного пара, то есть испарение воды, происходит при следующих условиях: это низкие значения водоизвестковых отношений, большая скорость гидратации и отсутствие или длительный забор выделившейся теплоты. Малые значения водоизвестковых отношений могут быть установлены при быстром заборе выделившейся теплоты при гашении извести, а значит и при медленном повышении температурных значений. В зимний сезон температура воды, извести, предметов вокруг и, наконец, самого воздуха в силу природных условий низкая, что помогает отводить теплоту при гашении извести. В описанных выше условиях пар практически не появляется, а это говорит о том, что водоизвестковый фактор почти не оказывает влияние. Более прочными будут образцы на той негашеной извести, которая была произведена зимой с малыми объемами воды, нежели на той, что сделана летом, при высоких температурах, с высокими значениями водоизвестковых отношений.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Сырье для приготовления бетонной смеси

1.1.1 Вяжущее вещество

В качестве вяжущего вещества в бетонной смеси обычно используется портландцемент. Дадим ему определение. Портландцемент – это гидравлическое вяжущее вещество, которое получают после раздробления портландцементного клинкера и гипса, зачастую в данную массу также погружают специальные добавки.[3] Для того чтобы произвести клинкер, необходимо обжечь тонкодисперсную неделимую массу из известняка и глины до спекания, что составляет примерно 1450 градусов Цельсия. Зачастую также в данной смеси присутствуют корректирующие добавки. Во время обжига важно сохранить в смеси большую долю основных силикатов кальция, а именно $2\text{CaO} * \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} * \text{SiO}_2$. Клинкер включает в себя алюмоферритную фазу, алюминатную и клинкерное стекло. В цемент входит много различных минералов, и именно благодаря этому данный материал прочный, устойчивый к воздействию воды и низких температур. Портландцемент – самое популярное вяжущее вещество, которое используют в строительстве. Сейчас различные фабрики настроили свое производство в пользу портландцемента, обладающего высокой активностью (М300-700) и быстротой затвердевания. Эти характеристики в основном диктуются составом клинкера, то есть теми минералами, которые в него входят, тонкостью помола и объемом добавок. Приведем следующий пример: если увеличить удельную поверхность цемента примерно с 3000 см²/г до 5000 см²/г, то вещество будет твердеть в 1,5-2 раза быстрее. На тех фабриках, которые используют технологию сборного железобетона, должны быть учтены минеральный состав клинкера, тонкость помола и число высокоактивных цементов хорошей марки. Это поможет уменьшить затраченное на производство количество времени, использовать немного вяжущего вещества, а значит изготовить продукт по более низкой цене. В случае автоклавной обработки продукции заводы могут прибегнуть к

цементу, скорость гидратации которого проходит медленнее, и к цементу с большим количеством двухкальциевого силиката в составе (C2S).

Основные фазы портландцементного клинкера:

- алит;
- белит;
- алюминатная фаза;
- ферритная фаза.

В клинкере также могут присутствовать в небольших количествах и другие фазы, такие как щелочные сульфаты и оксид кальция. Изготовление бетона – это по своей сути заполнение клейкого вещества пустых пространств между твердыми частицами. Если бетон производится на основе портландцемента, то клейким веществом обычно служит цементное тесто. По мере проникания этого вещества в свободные пространства густота бетона изменяется: изначально он влажный, затем превращается в текучий. На прочность цемента в первую очередь влияет пропорция воды и цемента. Наилучшие значения выглядят так: $C/V = 2,5-3,3$ ($V/C=0,4-0,3$).

В первую очередь концентрация воды и цемента определяет прочность и стойкость цементного клея. Помимо этого, количество воды в цементном тесте влияет на размер усадочных напряжений. Чрезмерные объемы воды испаряются, что в итоге ведет к образованию пустот в цементном камне.

В цемент допускается вводить специальные добавки для регулирования отдельных строительно-технических свойств цемента и специальные, и технологические добавки для улучшения процесса помола и (или) облегчения транспортирования цемента по трубопроводам. [2]

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

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. Зерен с размерами, выходящими за предельные размеры фракции, должно быть не более 5%, а полусумма полных остатков на ситах с d_{\max} и d_{\min} составляет 40–70% (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 бетонных конструкций, подвергающихся увлажнению и замораживанию, применяют гравий определенной степени морозостойкости, неодинаковой для различных климатических условий и условий увлажнения конструкций.

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. Щебень и гравий, предназначенные для применения в качестве заполнителей для бетонов, должны обладать стойкостью к химическому воздействию щелочей цемента.[6]

Крупные заполнители не должны содержать вредных примесей. Таковыми могут являться глинистые, органические и пылеватые частицы.[30]

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 как можно меньшим, так как при этом снижается потребность в цементнопесчаном 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.

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 - природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений.[5]

По минеральному составу пески делятся на:

- кварцевые пески;
- полевошпатные;
- карбонатные.

При описании песка используют следующие характеристики :

- модуль крупности;
- насыпная плотность;
- количество глинястых и пылевидных частиц.

Характеристика, о которой далее будет идти речь, - 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.

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 и прочности.

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.

1.2 Свойства негашеной извести как гидратационного вяжущего вещества

Далее речь пойдет о гидравлическом вяжущем, а именно негашеной извести[40]. Учитывая всю сложность грамотного применения добавки важно узнать обо всех технических характеристиках вещества, а не только лишь о главном – гидратации при реакции с водой. Разберемся же в особенности негашеной извести, рассматривая ее как гидравлическое вяжущее вещество.

1.2.1 Сроки схватывания извести

Несколько факторов определяют затвердевание молотой негашеной извести во время ее гашения[41]. Это, в первую очередь, быстрота гидратации, соотношение воды и извести. Чем выше скорость гидратации, тем быстрее схватывается известь. Принято выделять несколько типов воздушной извести: первый – медленно гасящаяся (время протекания процесса превышает 30 минут), второй – средне гасящаяся (от 10 до 30 минут), третий – быстро гасящаяся (не превышает 10 минут). Значение отношения воды и извести воздействует на быстроту схватывания вещества косвенно. Оно напрямую влияет на плотность, степень разогрева, быстроту протекания процесса гидратации. При увеличении объема и доли воды в пропорции происходит уменьшение температуры вещества, скорости гидратации и, соответственно, его способности к затвердеванию. Если взять очень много воды, то в связи с малыми значениями плотности вещество не затвердеет.

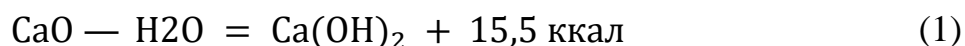
Воздушную негашеную известь без добавок подразделяют на три сорта: 1-й, 2-й и 3-й; не гашеную порошкообразную с добавками — на два сорта: 1 и 2; гидратную (гашеную) без добавок и с добавками — на два сорта: 1-й и 2-й.[8]

1.2.2 Химическое связывание воды при гидратационном твердении извести

Как известно, гашеная известь в период схватывания и твердения не только не связывает, а, напротив, выделяет воду. В противоположность этому, негашенная известь при гидратационном твердении связывает химически крупные объемы воды. Стоит сравнить следующие показатели. Портландцемент может соединить в течение месячного периода массу воды, равную 10 процентам собственного первоначального веса, или же 30 процентов от первоначального объема. Показатели негашеной извести же намного выше: она во время протекания гидратации способна соединить 32 процента воды от своей изначальной массы и практически 100 процентов изначального объема. Подводя итог, можно сказать, что известь-кипелка за несколько часов тратит на химическое соединение в три раза большее количество воды, чем портландцемент тратит за один месяц. Одна из самых важных и выгодных характеристик извести-кипелки – это химическое соединение значительных объемов воды.

1.2.3 Теплота гидратации извести

Схватывание и затвердевание гасящейся извести-кипелки представляет собой следующую экзотермическую реакцию:



Рассматривая негашеную известь в аспекте химической реакции, мы можем сопоставить ее с цементами и гипсом. У всех этих веществ гидратация протекает с выделением теплоты.

Тот факт, что при гашении извести происходит высвобождение большого количества теплоты, при некоторых обстоятельствах очень важен. Это выгодно, к примеру, при изготовлении строительных материалов и стройке в зимний сезон[48]. Несмотря на это, у выделения тепла при гидратации извести есть и другая, отрицательная сторона. Особенно ярко она проявляется, если нужно произвести прочный материал в условиях низкого водоизвесткового фактора в летний сезон. Таким образом, важно соблюсти определенное водоизвестковое отношение молотой негашеной извести с той целью, чтобы температура гашения не увеличивалась очень резко. Если же не

выполнить это требование, вещество будет терять свою целостность, уменьшится прочность из-за повышенного давления образовавшегося водяного пара, материал не сцепится. Выделение большого количества водяного пара, то есть испарение воды, происходит при следующих условиях: это низкие значения водоизвестковых отношений, большая скорость гидратации и отсутствие или долгий забор выделившейся теплоты. Малые значения водоизвестковых отношений могут быть установлены при быстром заборе выделившейся теплоты при гашении извести, а значит и при медленном повышении температурных значений. В зимний сезон температура воды, извести, предметов вокруг и, наконец, самого воздуха в силу природных условий низкая, что помогает отводить теплоту при гашении извести. В описанных выше условиях пар практически не появляется, а это говорит о том, что водоизвестковый фактор почти не оказывает влияние. В этих обстоятельствах вещество становится быстро прочным и сухим. Более прочными будут образцы на той негашеной извести, которая была произведена зимой с малыми объемами воды, по сравнению с той, что сделана летом, при высоких температурах, с высокими значениями водоизвестковых отношений.

1.2.4 Дисперсность негашеной молотой извести и прочность продуктов ее твердения

Признаком, который создает различие между негашеной и гашеной известью, стоит обозначить их разную дисперсность, то есть число мельчайших частиц, способных поместиться в одинаковом объеме[49]. Относительно недавно было проведено изучение удельной поверхности (размеров пустых пространств в веществе) гашеной гидратной извести. В качестве подхода к изучению был выбран способ адсорбции газа. Результатом стало следующее значение в $30 \text{ м}^2/\text{г}$, в то время как удельная поверхность негашеной извести исчисляется в значениях, меньших $0,5 \text{ м}^2/\text{г}$. Таким образом, если необходимо добиться высокого значения плотности погашенной заранее извести, то нужно добавить огромный объем воды в

материал. В противовес этому выводу, для смачивания небольшой поверхности порошка негашеной извести до получения теста заданной густоты, необходимо относительно небольшое количество воды, что способствует возможности получения очень прочного известкового вяжущего. Но в то же время важно, чтобы негашеная известь при добавлении воды не перешла в гашеную известь (пушонку). Здесь имеет место быть следующий прием: забор излишней теплоты и одновременное добавление компонентов, которые тормозят протекающий процесс гидратации. Помимо этого, при добавлении небольшой массы воды, что и происходит при смачивании негашеной извести, теряется пластичность вещества, а это также необходимо исправить. В этом могут помочь новые компоненты, разжижители, самые распространенные – это гипс и сульфитно-спиртовая барда. Комбинированная добавка к извести-кипелке 5 % сырого гипса и к воде затворения 5 % привела к тому, что уменьшилась вязкость массы при низком водоизвестковом факторе, а при высоком – материал приобрел форму жидкой, растекающейся массы.

1.3 Представление о механизме твердения негашеной извести

Несмотря на то, что известь-кипелка на первый взгляд может показаться весьма простой субстанцией, которая с точки зрения химии однородна, придание ей прочности – процесс весьма трудный. Начнем с простых наблюдений на глаз: при добавлении негашеной извести в воду она моментально превращается в мягкую и более вязкую и податливую в противовес первоначальной грубоватости и твердости [47]. Если продолжить наблюдать за реакцией извести и воды, то можно заметить, что вещество будет постепенно сцепляться и становиться все более и более крепким. Таким образом, в процессе этой реакции негашеная известь превращается в пластичное вещество, частицы постепенно сцепляются, итоговый материал же представляет собой твердый объект. Стоит также заметить то, что известь способна реагировать как с водой, при этом преодолевая два состояния (твердое и жидкое), так и с водой и воздухом в один момент, уже проходя

через три состояния (твердое, жидкое и газообразное). Во время данной реакции протекают некие внутренние процессы, которые затем оставляют свой след и на конечном продукте реакции. Эти внутренние процессы протекают по-разному, что зависит от смены состояний (твердого, жидкого и газообразного), от очередности этих фаз, некоторые процессы могут быть характерны лишь для того или иного состава реагентов (либо только для схемы «вода и известь», либо только для схемы «вода, известь, воздух»). Именно поэтому исследование внутренних процессов в их чистом виде наиболее логично при опоре на классификацию о смене состояний вещества. Обратимся к некоторым примерам: такие процессы, как просушивание и карбонизация, никак не могут показать, почему известь становится прочной и твердой при взаимодействии только воды и собственно самой извести. Конечно же, эти процессы допустимы только в схеме, состоящей из трех компонентов: воды, извести и воздуха. Далее будет представлена классификация этапов пластичности, соединения и твердения извести по признаку состояния, то есть фазы. Из нее можно понять то, что молотая негашеная известь может при взаимодействии с водой соединяться и застывать в системе, состоящей из извести и воды, чего не может произойти с гашеной известью. Именно в связи с этим исследование протекания в подобной системе наиболее актуально. Важно также провести аналогию с исследованиями протекания реакции цемента и воды, в которых изначально не придавали внимания третьему элементу – воздуху (а именно он служил причиной более сложных процессов).

Сделаем выводы из изучения реакции твердения извести, в которой элементами являются лишь сама известь и вода[34]:

1. При добавлении воды к негашеной извести возникает процесс гидратации на частицах извести, его формула выглядит следующим образом:



В итоге мы получаем гидроксид кальция, который обладает свойством растворимости в воде. Полученное основание тут же превращается в раствор.

Во время растворения в воде известь выступает электролитом, разделяется на два вида ионов: положительные (ионы кальция) и отрицательные (гидроксильные ионы). Полное ионное уравнение представлено ниже:



Протекание данной реакции при обычных условиях невозможно увидеть невооруженным глазом, для этого нужно погрузить немного известки-кипелки в воду, в которой есть раствор фенолфталеина. Частицы извести, опускаясь на самый низ сосуда, будут оставлять «хвост» малинового цвета, то есть окрашивать жидкость по мере своего движения. Это явный сигнал того, что известь была растворена водой, а это первый этап реакции – образование гидроксида кальция. Следующий этап – превращение содержимого в раствор, при этом два этих этапа протекают одновременно. Первые продукты взаимодействия с водой уже начинают превращаться в раствор, в то время как иные частицы только на первом этапе гидратации. В общем эта реакция длится до того времени, когда вещество не становится насыщенным раствором. После этого гидроксид кальция уже не может раствориться. Известь растворяется в воде плохо, ее значения растворимости равны примерно 1,3 г/л. Как правило, при осуществлении данной реакции используется малое количество воды, а это значит то, что растворяется крайне малая часть погруженной извести. Остальная же, большая часть извести не взаимодействует с водой. Явления, описанные выше, осуществляются в качестве первого этапа твердения известки-кипелки. Сравнив данный этап со схожим этапом при твердении гипса или цемента, можно подобрать ему следующее наименование – этап поверхностной гидратации и растворения получившегося гидроксида.

2. После того, как все возможное количество гидроксида кальция растворяется в воде, образуя при этом раствор, реакция не завершается. Вода продолжает воздействовать на основную, не растворившуюся массу известки-кипелки. Первая реакция, представленная в первой формуле выше, продолжает идти. При этом же получающийся гидроксид кальция не

способен растворяться (раствор уже насыщен) и выпадает в осадок. При этом этот осадок представляет собой не массу, а некую промежуточную, коллоидную систему, то есть консистенцию в виде студня или геля. Внешне эта масса похожа на твердеющий гипс. Взвешенные твердые частицы выпадают без первоначального растворения в воде исходного вещества. Другими словами, очень маленькие частицы гидроксида кальция появляются после прямого присоединения первоначальной негашеной извести к молекулам воды. Таким образом осуществляется химическая и адсорбционная эмульсия, то есть измельчение твердых веществ. Как и в предыдущем пункте, этот процесс невозможно увидеть при обычных условиях, в этом может помочь большой кусок извести-кипелки, опущенный предварительно в воду. После того как пройдет определенное количество времени, этот кусок начнет рассыпаться на меньшие куски, и в итоге от него останется порошок из мельчайших крупинок. Этот процесс и представляет собой второй пункт схватывания извести-кипелки, названный этапом диспергирования (распада) и появления центров скопления гидроксида кальция. Этот этап характеризуется взаимодействием основной массы первоначального вещества, негашеной извести, с водой. Также важно отметить то, что во время процесса выделяется много теплоты, а соответственно и наблюдается рост значений температуры. Как известно, повышение температуры ведет к ускорению протекания процессов. На данном этапе выделения студня или геля появляются иные поверхности. Удельная поверхность первоначальной извести-кипелки равняется нескольким тысячам $\text{см}^2/\text{г}$, в то время как гашеной извести – нескольким сотням тысяч $\text{см}^2/\text{г}$. Как мы видим, данное значение растет во много раз. Также стоит заметить то, что на данном этапе частицы извести заряжены положительно в связи с поглощением из образовавшегося на первом этапе раствора ионов кальция. Это приводит к тому, что к скоплению частичек извести примыкают по сторонам ионы гидроксидов, которые, наоборот, заряжены отрицательно. Данные новые образования нуждаются в огромном

количестве воды, не задействованной в иных процессах. В итоге, они поглощают множество воды, а вещество превращается из текучей формы в более вязкую.

3. Третий этап процесса затвердевания извести-кипелки именуется этапом коагуляции, то есть слипания частичек после коллоидной системы. Вся вода во время гашения извести идет сначала на взаимодействие с оксидом кальция, а затем – на обволакивание новых поверхностей при гашении. Таким образом, после гашения верхних слоев извести практически не остается свободной воды, поэтому негашеная известь на других слоях вынуждена забирать самую слабо соединенную с коллоидными образованиями воду. К тому же, вода не взаимодействует с частицами извести-кипелки мгновенно, она последовательно пробирается внутрь крупинок. Таким образом, к тому времени, когда наиболее доступные слои извести уже образовали коллоидную систему гидроксида кальция и прошли весь этап взаимодействия с водой, более нижние слои пока лишь забирают воду на осуществление реакции из верхней коллоидной системы. В связи с тем, что вода из верхних слоев начинает использоваться нижними, поглощается ими для осуществления реакции гидратации, а затем и образования собственного студня или геля, происходит сгущение. Расстояние между твердыми частями уменьшается, пустот, заполненных лишь водой, становится все меньше и меньше. Таким образом, расстояния между коллоидными скоплениями также уменьшаются, что крайне необходимо для начала процесса коагуляции. На данном этапе как раз и наблюдается сращивание крупинок коллоидных систем, быстрее всего это осуществляется в контактных поверхностях, таких как углах, к примеру. Эти соединенные частицы представляют собой уже не коллоидные, а коагуляционные системы. Данное явление застывания проявляется с большей силой, когда большие объемы геля уплотнены, и протекает до того момента, когда все слои извести-кипелки, даже самые отдаленные, не пройдут через взаимодействие с водой. Стоит сказать и о том, что в простых гелях или

студнях процесс слипания и формирования более крупных частиц осуществляется из-за сжатия диффузных слоев коллоидных мицелл. Для того, чтобы происходило данное сжатие, используют добавочные электролиты. При этом сжатие коллоидной системы точно так же может осуществляться за счет забора воды на реакцию гидратации оставшейся еще не взаимодействовавшей извести. Это объясняет тот факт, что известь начинает застывать уже во время гашения.

4. Четвертый этап затвердевания извести заключается в том, что некоторые частицы геля или студня приступают к самостоятельной перекристаллизации. Это вызвано тем, что в ходе реакции образуется много поверхностной энергии. Когда у какого-либо объекта много свободной энергии, он старается самостоятельно начать получать меньшее ее количество. Вернемся к нашей реакции, для нее отличным способом освободиться от большой массы энергии является сокращение удельной поверхности вещества. В итоге это ведет к тому, что растворимость крупных частиц становится меньше растворимости маленьких. В сфере коллоидной дисперсности растворимость веществ уменьшается с увеличением размера частиц.

Если размер частиц влияет на их растворимость, то «раствор, насыщенный по отношению к мельчайшим коллоидным частицам, является пересыщенным по отношению к кристаллическим образованиям». При существующем раскладе будут протекать два явления одновременно. Во-первых, малые частицы гидроксида кальция будут растворяться в воде и превращаться в раствор. Во-вторых, более крупные образования будут впитывать часть раствора, который содержит мелкие фракции. Таким образом, наблюдаем постепенный переход малых частиц в крупные, промежуточной формой которых является раствор.

Срашивание и сцепление кристаллов гидроксида кальция приводит к застыванию вещества. Явление самостоятельной перекристаллизации массы из более растворимой и менее устойчивой, в форму более стабильную,

крупнокристаллическую – это главный фактор того, почему увеличивается прочность вещества. Обычно это явление следует после процесса гашения извести, но иногда оно способно протекать и во время гидратации, стоит объяснить почему. Ответ кроется в том, у исходного вещества и продукта реакции гидратации различные системы решетки: у оксида кальция она кубическая, а у гидроксида кальция – гексагональная. Таким образом, во время реакции происходит переход из одной системы в иную, что также называется перекристаллизацией. Также стоит отметить то, о чем говорилось выше, известь, находящаяся в растворе, вместе с отдалением от нее воды превращается в твердые кристаллы. Не надо забывать о том, что мы на данный момент рассматриваем явления в системе вода и известь, не говоря о влиянии воздуха, поэтому вода из раствора не расходуется на испарение. Из раствора происходит забор воды для осуществления гидратации. Еще один важный момент – постепенное перенасыщение раствора. Изначально он, содержащий большие объемы воды, растворяет максимально возможное количество гидроксида кальция, затем часть воды из раствора тратится на взаимодействие с остальной известью-кипелкой, раствор становится перенасыщенным. Рассмотрим это на примере: если соотношение извести и воды равняется одному, то около 30 % воды будет потрачено на осуществление гидратации извести-кипелки, раствор же, который стал насыщенным при реагировании с верхними слоями, к завершению процессов станет перенасыщенным тоже на примерно 30 процентов. Из этого следует вывод: необязательно наличие свободной энергии в веществе для того, чтобы выпадали кристаллы. Выше были рассмотрены две причины выпадения кристаллов извести, укрупнения частиц – выделение свободной энергии и перенасыщение раствора. Третья причина – рост температуры во время реакции. Разница оксида кальция и многих других растворимых веществ заключается в том, что при росте температурных значений у извести снижается способность к растворению. Так, к примеру, при температуре 0 градусов Цельсия известь растворяется в 13 раз активнее, нежели при

температуре 190 градусов Цельсия. Это ведет к тому, что в начале реакции при низких температурах раствор насыщается, однако затем после роста температуры в растворе остается большее количество извести, нежели вода может растворить при данной температуре. По той же причине, что температура воды в начале реакции и максимально достигаемая при гашении различаются очень сильно, то к моменту завершения реакции раствор может содержать большое количество извести, которую не может растворить, то есть быть перенасыщенным. Данные три причины кристаллизации извести, приведенные выше, «работают» на стадии химической реакции гидратации оксида кальция. Данные три фактора «работают» при отсутствии физического воздействия извне. Однако если, допустим, взбалтывать вещество во время осуществления реакции, то не будет происходить начальные застывание и затвердевание. Четвертый этап процесса схватывания извести-кипелки принято называть этапом кристаллизации, во время которого вещество начинает обладать прочностью кристаллизационных связей.

Таким образом, четыре этапа рассматриваемой реакции (растворение, коллоидация, коагуляция и кристаллизация) наблюдаются в системе твердое-жидкое, что определяет то, что первоначальное схватывание извести-кипелки происходит под водой.

1.4 Взаимодействие негашеной извести и соляной кислоты с последующим получением тяжелого бетона

В прошлом считалось, что в реакции портландцемента и негашеной извести нет смысла, потому что объем извести при связи с водой и образовании из безводного гидроксида становится больше в 3 с лишним раза. Ценность цемента определяет наличие в нем определенного количества свободного оксида кальция. Исследователь Ле-Шателье определил, что негашеная известь, которая находится в цементе в свободной форме, не прикрепленная к силикатам и алюминатам, ведет к скачкообразным переменам в объеме цементной массы. Именно с тех пор стали считать, что

если даже небольшое количество свободной извести-кипелки в цементе влияет на его ценность и высокосортность, то прибавка негашеной извести извне вовсе немыслима.

В 1926 г. И. В. Смирнов стал добавлять в смесь, предназначенную для изготовления мукомольных жерновов, негашеную известь и соляную кислоту[51]. Заполнителями такого бетона были, как обычно, наждак, кремний, битое стекло и другие высокоабразивные материалы. Из такого бетона он получил очень хорошие мельничные жернова. Данный пример заставил подумать о допустимости применения извести-кипелки и соляной кислоты в изготовлении простых бетонов для строительства.

Почему же стало возможным применение негашеной извести в тяжелых бетонах?

Объяснение данного явления кроется в том, что свободная известь-кипелка, появившаяся внутри вещества и не сцепившаяся с клинкером, и та же известь-кипелка, опущенная в массу извне обладают различными свойствами. Рассмотрим сначала первое обстоятельство. Негашеная известь, не примкнувшая к клинкеру, обжигается вместе со всем цементом при температуре около 1500 градусов Цельсия, из-за чего она оказывается обожженной слишком сильно. Впоследствии процесс ее гашения протекает в течение долгого периода времени. Она гасится в уже затвердевшей массе цемента; при поглощении воды она сильно увеличивается в объеме [удельный вес CaO —3,1, а удельный вес Ca(OH)_2 —2,1], это в свою очередь ведет к росту объема пустот, а значит и к скачкообразным переменам в объеме вещества. Ситуация с добавленной известью-кипелкой отличается, температура ее обжига равняется примерно 1050 градусам Цельсия, что говорит о непродолжительности ее гидратации. Таким образом, перемены в ее объеме протекают внутри твердеющего цемента, что не ведет к внутренним перенапряжениям.

Описанные выше различия в свойствах и есть причина того, что внедрение небольшого количества оксида кальция в цемент не приводит к

разрушениям, а наличие такой же массы свободной окиси кальция в клинкере вызывает неравномерность изменения объема. Следует отметить, что добавка малого количества извести вводимой дополнительно при вторичном обжиге цемента до высоких температур, уже вызывает неравномерность изменения объема.

Путем проведения опытов был доказан тот факт, что прибавление к цементу оксида кальция в небольших объемах (которые не превышают 5-15 %) не ведут к ухудшению качества вещества. Для того, чтобы максимально обезопасить себя, можно вместе с известью-кипелкой опускать в массу кислоту или кальциевую соль соляной кислоты, которые обеспечат ускорение процесса гашения. Данные действия исключают любую допустимую порчу вещества. Добавка соляной кислоты хорошо влияет на те виды цементов, объем которых меняется скачкообразно. Благодаря ей, свободная известь проходит реакцию гидратации быстрее и затвердевает с остальной массой цемента, не влияя на изменения объема массы.

Описанные выше выводы имеют место быть только в том случае, если добавляется известь довольно высокого сорта – высококальциевая, состоящая из мельчайших частиц.

Большие кусочки, которые остаются в извести после грубого ее помола, ведут к неминуемым переменам в объеме целого вещества. Из-за этого может происходить разрушение бетона.

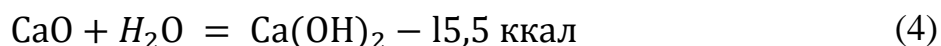
Как считает исследователь Б. Г. Скрамтаев, тонкомолотая известь-кипелка полезна для повышения температуры бетона и для активации влияния соли хлорида кальция на бетон. Но если добавить еще и соляную кислоту, то задействуется поверхность заполнителей. Подобный вид бетона, по мнению Скрамтаева, актуально использовать во время зимнего сезона.

Твердость и устойчивость бетона растет при условии, что поверхность заполнителей реактивная. Б. Г. Скрамтаев ставил опыты на растворах с простым кварцевым песком и клинкером и понял, что прочность растворов на клинкерном песке в 28-суточном возрасте почти в три раза превышает

прочность раствора на кварцевом песке. Это явление объясняется, очевидно, тем, что поверхность клинкерного песка активно взаимодействует с твердеющим веществом.

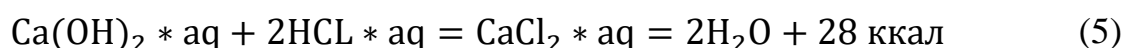
Обычно при добавлении в массу одновременно извести-кипелки и соляной кислоты высвобождается теплота из-за того, что они реагируют как друг с другом, так и с водой.

Определить, сколько теплоты освободилось, можно, используя формулу экзотермической реакции:



По данной реакции можно вычислить то, что 1 килограмм оксида кальция выделяет 276 ккал теплоты.

Вторая формула – нейтрализация извести-кипелки при реакции с соляной кислотой и появление хлорида кальция:



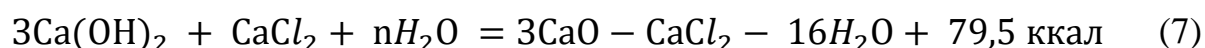
После реакции соляной кислоты и 1 килограмма гидроксида кальция выделяется 384 ккал теплоты.

Третья формула объясняет рост растворимости не прореагировавшей извести после появления хлорида кальция в растворе. Количество тепла вычисляется по следующему уравнению реакции:



На один килограмм растворенной извести-кипелки приходится 40 ккал теплоты.

Четвертая формула описывает реакцию оставшихся частиц извести с солью хлоридом кальция с высокой концентрацией в растворе, результатом которой является хлорокись кальция:



Появление одного килограмма продукта реакции – хлорокиси кальция – сопровождается высвобождением 140 ккал теплоты.

Таким образом, эти все описанные выше реакции невозможно представить без высвобождения определенного количества теплоты. А вместе с этим неминуем и рост температурных значений бетона.

Кроме этих реакций выделение теплоты можно наблюдать и при взаимодействии портландцементного клинкера с водой. Для регулирования последствий экзотермических реакций принято добавлять в изготавливаемую массу некие ускорители, воздействующие на быстроту высвобождения теплоты.

Описанные ранее реакции с выделением определенного количества теплоты как раз и объясняют такой процесс, как саморазогрев бетона.

1.5 Взаимодействие молотой извести кипелки в качестве интенсификатора твердения тяжелого бетона

Как уже говорилось выше в предыдущей главе, существуют определенные добавки-ускорители, которые превращают процесс высвобождения тепла в более эффективный.

Ускорители «работают» на то, чтобы привлечь к взаимодействию огромное количество цемента в самом начале процесса, во время гидратации, и добиться высвобождения дополнительной теплоты. Портландцементы, в составе которых около 40 процентов занимает трехкальциевый силикат, при реагировании с 1 процентом хлорида кальция начинают отдавать тепла на 6 калорий больше, что составляет 10-ти процентное превышение обычного тепловыделения.

Пластичность и гибкость бетона на протяжении долгого времени может быть как положительна, так и отрицательна. Для некоторых случаев невозможно обойтись без нее, к таким случаям относятся производство бетонных плит для огромных объектов или же перевозка бетонной массы на дальние расстояния. Когда изготовление бетонной смеси и использование ее располагается на одной территории, а производятся такие небольшие вещи, как, например, бетонные блоки для стен зданий, декоративные покрытия для дорог, мелкие архитектурные детали, заторможенность затвердевания не

нужна. В действительности она даже негативно воздействует на производство в данных случаях, так как тормозит процесс укладки произведенных деталей, не позволяет использовать одну форму несколько раз и ограничиться маленькой территорией.

В контексте сохранения бетонной смесью своей пластичности и длительности затвердевания, вернемся к вопросу о саморазогреве бетона ускорителях данного процесса. Экзотермические реакции, описанные в предыдущей главе, можно обозначить причинами саморазогрева.

При использовании одного килограмма извести в реакции высвобождается в течение нескольких первых часов более чем в 20 раз большее количество теплоты, нежели при использовании такой же массы портландцемента на протяжении трех дней.

Важно сказать о том, что на протяжении первых 7 часов само вещество реакции не высвобождает теплоту. Если же добавить в вещество ускорители, то на первое время придется большее количество выделяемой теплоты.

Дело обстоит иначе, если говорить о бетоне. Он может во время гидратации высвободить тепло самостоятельно без дополнительных элементов в составе. При этом интересен тот факт, что в течение первых трех дней после начала реакции освобождается в два раза меньше теплоты, чем за 1 месяц. С учетом этого вполне логично предположить то, что за данный промежуток времени температура бетонной детали повысится в два раза. Однако это имеет место быть лишь в теории, так как теплоизоляция в жизни не может быть нулевой.

Несмотря на то, что бетон сам по себе способен высвободить большое количество теплоты, порой и в него добавляют ускорители. С ними бетонная масса разогревается в три раза быстрее. Прибегают к использованию ускорителя скорее не для увеличения объемов высвобождаемой теплоты во время реакции, а для перераспределения теплоты по времени. Ускорители «работают» на высвобождение всего тепла в короткие сроки, что очень важно для производства бетона. Польза от тепла, которое выходит в начале

схватывания бетонной массы, намного выше, чем от высвобождаемой цементом в течение месяца после начала реакции.

Таким образом, для тех обстоятельств, в которых нужно скорое застывание бетона и соответственно выделение большого объема теплоты в ранние сроки, актуально использование негашеной извести с соляной кислотой.

Быстрота высвобождения теплоты зависит от темпов гашения извести и ее нейтрализации с помощью кислоты[43]. Существует классификация, которая позволяет разбить известь на: медленногасящуюся (сроки исчисляются значениями больше 30 минут), среднегасящуюся (5-30 минут) и быстрогасящуюся (меньше 5 минут). Добавление хлороводородной кислоты помогает увеличить темпы гашения извести из любой группы. С этим дополнительным элементом все виды извести-кипелки переходят в разряд быстрогасящейся при том даже, что количество добавления соляной кислоты не играет никакой роли. В первые несколько минут после добавления даже самых маленьких ее объемов в массу будет высвобождено огромное количество теплоты, что позволит затвердеть цементу как можно быстрее. Так, допустим, если ввести 3 процента хлорида кальция и 15 процентов извести-кипелки, то затвердевание начнется через несколько минут, а полное застывание через 12 – 20 минут. Однако, на самом деле, на практике в бетоне с различными добавками используется большее количество воды, разогрев и достижение температурного максимума. Если вложить в бетон лишь известь-кипелку, которая будет занимать 5 процентов, то крепость массы повысится примерно на 20 процентов. Важный нюанс: дальнейшее внедрение извести в вещество будет вести, наоборот, к уменьшению характеристики прочности. Это может быть объяснено тем, что крайне сложно добиться хорошего качества помола с используемой обычно техникой (шаровых и вибромельницах). На одном из уровней помола будут реализовываться самоагрегация и качество измельчения будет поддерживаться одинаковым.

При добавлении в бетон только соляной кислоты застывание вещества будет ускоряться лишь в начале. При этом если повысить количество соляной кислоты до 2,5 процентов в бетоне, то прочность будет наоборот уменьшаться в своих значениях.

Таким образом, внедрение либо извести, либо соляной кислоты имеет свои минусы. Ситуация способна в корне перемениться при внедрении обоих элементов одновременно.

1. Внедрение 0,83 процентов соляной кислоты и 15 процентов извести-кипелки увеличивает быстроту застывания бетона в первые несколько дней в 3 раза, затем в 1,5 раза и гарантирует увеличение прочности материала на протяжении всего оставшегося времени.

2. Следующий вид соотношения: 1,67 процента хлороводородной кислоты и также 15 процентов извести-кипелки увеличивает темпы застывания бетона даже больше, чем предыдущая пропорция. В данном случае спустя 6 часов после начала реакции бетон становится таким же крепким, как если бы он простоял целые сутки без добавок. Спустя сутки же данное соотношение дополнительных элементов обеспечивает прочность, в 3,5 раза превышающую обыкновенный бетон такого же возраста. При это через месяц прочность будет больше на 15-20 процентов.

3. Третье соотношение – 2,5 процента соляной кислоты и 15 процентов извести-кипелки. Влияние его на быстроту затвердевания бетона особенно ярко заметно в самом начале. Так спустя 6 часов бетон застывает так, как он бы застыл в обычных условиях за 1,5 суток. Нарастание прочности спустя месяц же происходит на примерно 10 процентов.

Одновременное внедрение извести-кипелки и хлороводородной кислоты заставляет процессы затвердевания протекать активней в первые несколько часов примерно в 3-5 раз, а спустя день – в 2 раза, нежели внедрение только лишь соляной кислоты. Наилучшее соотношение данных элементов – 10 процентов извести-кипелки и 2 процента кислоты от массы вещества.

Упомянутые ранее выводы о соотношениях добавок и их эффективности верны в теории, когда все элементы – химически чистые вещества. В жизни же это нереально. Самая качественная известь, используемая в строительстве, включает лишь 8 процентов оксида кальция, в то время как остальные извести, уступающие по качеству, еще меньше. Таким образом, важно не забывать об этом нюансе и рассчитывать необходимый объем добавок, отталкиваясь от подручных материалов.

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

Применение соляной кислоты и смеси извести-кипелки позволяет получать быстротвердеющие бетоны. Из факта саморазогрева бетона вытекает ряд важных следствий. Известно, что с повышением температуры среды схватывание цементов ускоряется. При самонагреве бетона повышается температура не среды, а самого цемента, но результат будет один и тот же: сроки схватывания цемента резко сокращаются.

Применение извести кипелки в бетонной смеси ускоряет расплабку изделий и увеличивает оборачиваемость форм за счет более быстрого набора прочности за счет высоких температур при бетонировании.

Самый главная и отличительная особенность добавки извести кипелки в тяжелый бетон в том, что при зимнем бетонировании не требуется дополнительный прогрев бетонных изделий так как смесь выделяет высокие температуры.

Но так же есть и минусы к которым относится то то при гидратационном твердении бетонной смеси в бетоне возникают экзотермические эффекты и создаются большие термические напряжения сопровождающиеся с интенсивным тепловыделением происходит бурное выкипание воды , а выделяющийся пар разрушает кристаллическую решетку бетона. В связи с этим особенно в летнее время нужно поддерживать оптимальную температуру путем подбора рационального водоизвесткового фактора.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

1. Определить изменение прочностных характеристик цементного камня в зависимости от добавляемого количества извести в бетонную смесь.

2. Определить наиболее эффективное количество добавки извести в тяжелом бетоне и оценить влияние на свойства конечного продукта.

3. Определить изменение тепловых эффектов и изменение начала формирования основных гидратных фаз при добавлении извести в разных количествах в бетонную смесь.

4. Определить влияние количества негашеной извести на фазовый состав цементного камня в 1 и 28 сутки твердения.

5. Определить экономическую эффективность добавки извести кипелки в тяжелом бетоне.

2 СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Требования к сырью

2.1.1 Технические требования к сырью

Требования к портландцементу, используемому для изготовления ЖБИ приводятся в:

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

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

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

Характеристика цемента:

Цемент произведен ООО «Дюккерхофф Коркино Цемент» и соответствует ГОСТ 31108 – 2016. ЦЕМ II/В– Ш 32,5Н (портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В со шлаком (Ш) от 21% до 35%), класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий. Нормальная густота цементного теста 30,5 %. Начало схватывания – 2 часа 27 минут, конец – 3 часа 34 минуты.

Таблица 1 – Минералогический состав клинкерной части

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
5,92...5,94	15,9...16,1	6,22...6,28	11,9...12,1

Таблица 2 – Химический состав цемента

Содержание основных оксидов в 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	64,98	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

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;

Таблица 3 – 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

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;

Таблица 4 – Гранулометрический состав щебня

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм		
	20	10	5
Остатки по ГОСТ 8736, %	До 10	40...80	90...100
Частные остатки, %	1	77	18,5
Полные остатки, %	1	78	97,5

Известь

Технические требования, предъявляемые к негашеной извести, содержатся в ГОСТ 9179-77 «Известь строительная. Технические условия».

Характеристики негашеной извести:

- По времени гашения среднегасящаяся - время гашения 25 мин;
- Известь гидравлическая
- Содержание активных (CaO+MgO) в пересчете на сухие вещества 75%
- Содержание непогасившихся зерен 5%

Требования к воде

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].

Таблица 5 – Содержание в воде растворимых солей, сульфатов, хлоридов и взвешенных частиц

Назначение воды	Максимальное допустимое содержание, мг/л			
	Растворимы х солей	Ионов SO_4^{2-}	Ионо в Cl^-	Взвешен ных частиц
Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемого раствора	2000	600	500	200

2.2 Физикомеханические методы испытаний

Для определения физико-механических свойств материалов использовали стандартные методики, приведенные в таблице 4.

Таблица 6 – Методы испытаний.

Вид испытаний	Метод испытаний
Определение насыпной плотности песка и расчет его пустотности	ГОСТ 8735-88
Определение зернового состава песка и его модуля крупности	ГОСТ 8736–2014
Определение насыпной плотности щебня и подсчет его пустотности, зернового состава щебня	ГОСТ 8269.0-97
Определение подвижности бетонной смеси	ГОСТ 10181–2014
Определение истинной плотности песка	ГОСТ 8735-88
Определение температуры бетонной смеси	ГОСТ 28498-90

Окончание таблицы 6

Вид испытаний	Метод испытаний
Определение прочности на сжатие для образцов бетона со стороной куба 100 мм	ГОСТ 10180–2012
Определение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста	ГОСТ 310.3-76

2.3 Дериватографический анализ

Дериватограф – комплексный термоаналитический прибор. Он способен определить температуру, разницу в массе, скорость изменения массы и разницу в количестве теплоты изучаемого объекта в разные моменты времени.

Дериватография – это одномоментное измерение изменения энтальпии и массы определенного объекта или материала.

Термография, или другими словами термический анализ – самый популярный способ изучить, в каких состояниях (твердом, жидком и газообразном) пребывают частицы одного объекта.

Термография «работает», опираясь на приведенные ниже процессы:

— изменение энтальпии материала при повышении его температуры (способ, который использует дифференциальный термический анализ);

— изменение массы объекта после повышения температуры (способ термо-гравиметрии);

— изменение величины объекта при повышении температуры (способ дило-тометрит);

— изменение электропроводности объекта при повышении его температуры.

Объекты, задействованные во многих химических реакциях с процессом повышения температуры, претерпевают изменение веса. Таким образом, измеряя массу объекта в ходе протекания реакции, приобретаются

важные новые знания. На этом как раз и построен термогравиметрический анализ. Смысл его в том, чтобы установить влияние температуры окружающей местности на вес объекта. Ниже на рисунке номер 2 показана кривая, которая характеризует утрату веса в зависимости от температурных значений. График выглядит как некое плато, его прямая линия показывает стабильность химической реакции в определенном тепловом промежутке и то, что при данных температурах не происходило никаких химических преобразований (в то же время могли протекать трансформации из сферы физики). Вертикальная линия спада показывает то, что происходил химический распад вещества.

Термогравиметрия – незаменимый способ, который активно используют в количественном анализе. Изображенный на рисунке 1 график позволяет рассчитать уменьшение веса объекта по мере увеличения температуры. Установив это, путем вычислений можно сделать вывод о количестве и качестве находящихся в данном веществе различных примесей. Чтобы успешно с этим справиться, необходимо лишь знание о составе реагента, который соответствует представленной температурной кривой, и о продукте химической реакции.

Несмотря на множество плюсов термогравиметрического подхода, график не позволяет ясно понять, при какой температуре начинается распад веществ. Он показывает только приблизительные данные о том, когда распад начинается и заканчивается. Еще труднее понять что-либо в том случае, если несколько химических взаимодействий с трансформацией массы протекают друг за другом или же вовсе накладываются. Узнать достаточно четко значение температуры, при которой протекают процессы, несложно, используя двухуровневую запись. Она будет изображать ту скорость, с которой вес объекта уменьшается в зависимости от времени повышения температуры. Данный график представлен на рисунке 2.

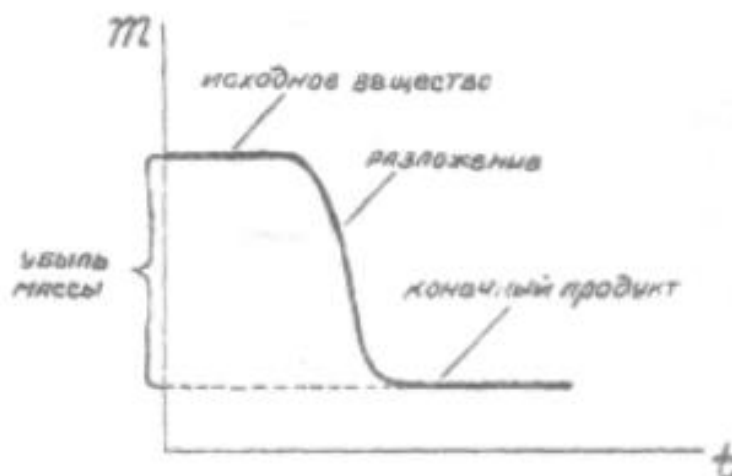


Рисунок 1 – Общий вид кривой ТГ

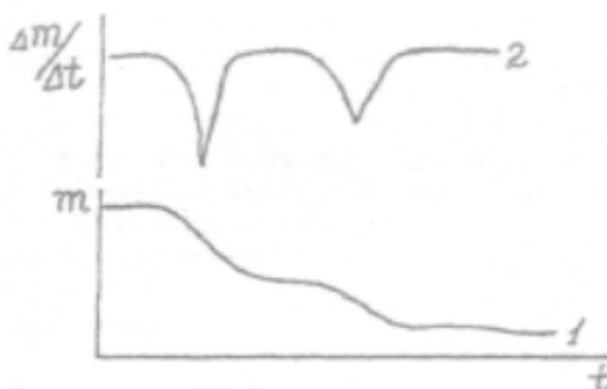


Рисунок 2 – Кривая ТГ-1 и соответствующая ей кривая ДТГ-2 (пики двух превращений четко разделены)

Вершины на дифференциальной кривой совпадают с моментами, в которые темпы изменения веса объекта были самыми высокими, а значит и верному значению температуры процесса.

Дериватографический анализ опирается на одномоментное установление веса и энтальпии изучаемого объекта. Во время анализа отмечают четыре критерия у одного объекта, которые затем переводят в графики (ДТА, ТГ, ДТГ и Т). График Т дополнительный, на нем отмечают показательные точки других графиков. С помощью него возможно определить значения температуры разных процессов и фазовых переходов, которые протекают в изучаемом объекте.

Приведенные ниже явления являются причинами эндотермических процессов на графике:

- дегидратацией вещества;
- распад сложных частиц;
- аллотропическое превращение;
- плавление.

За активацию эндотермических процессов на графике же отвечают приведенные ниже явления:

- процесс окисления;
- аллотропическое превращение, во время которого вещество движется от менее стабильного состояния к более стабильному при определенных тепловых показателях;
- процесс появления новых соединений веществ;
- трансформация из конденсированного состояния в кристаллическое.[28]

Стоит обозначить то оборудование, с помощью которого были построены графики уменьшения веса объектов при постоянном повышении температур. В данном случае был использован дериватограф немецкой системы «Luxx STA 409», которая принадлежит фирме «Netch». Скорость нагрева печи составляет 10 градусов Цельсия в минуту, самая высокая допустимая температура равняется примерно 1000 градусам Цельсия.

2.4 Определение достоверности эксперимента

Для оценки достоверности полученных результатов вычисляли коэффициент вариации V_m . При контроле по образцам среднее квадратическое отклонение в партии (S_m) при числе единичных значений в партии n больше шести определяется по формуле:

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n - 1}} \quad (8)$$

где R_i - единичное значение отклика; R_m - среднее значение отклика.

Если число единичных значений в партии составляло от двух до шести, значение S_m вычисляли по формуле:

$$S_m = \frac{W_m}{a} \quad (9)$$

где W_m - размах единичных значений отклика в контролируемой партии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями, a - коэффициент, зависящий от числа единичных значений (n). Значения a приведены ниже.

Таблица 7 - Значения коэффициента a

Число единичных значений	n	2	3	4	5	6
Значение коэффициента	a	1,13	1,69	2,06	2,33	2,5

Коэффициент вариации в партии (V_m) в процентах вычисляют по формуле:

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} * 100 \quad (10)$$

Достоверность результатов

Достоверность научных выводов и результатов работы обеспечена применением стандартных методов и проверенного оборудования при испытании материалов в условиях аттестованной лаборатории, использованием адекватных математических моделей и их анализом, необходимым числом образцов в серии для обеспечения доверительной вероятности результатов испытаний, равной 0,95. Значение доверительного интервала рассчитывали по формуле:

$$\Delta R = \sigma * S_m \quad (11)$$

При этом σ принимали равным 2, что соответствует достоверности 95% традиционно используемой в технике. Количество повторов опытов для получения результатов, с достоверностью 95%, попадающие в доверительный интервал среднее значение $\pm 5\%$, приведены в таблице 6.

Таблица 8 - Количество повторов опыта для принятых методик испытаний

Вид испытаний	Количество повторов опытов
Прочность на сжатие	3

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Определение эффективности добавки негашеной извести

На основе проведенного литературного обзора, для определения влияния количества извести – кипелки на прочность бетона был спланирован и реализован эксперимент.

По ГОСТ 30459-2008, изготавливаем бетонную смесь, подвижности П-2. Объем замеса 7 литров, для проведения эксперимента изготавливали образцы кубы 10x10x10 см из бетонной смеси, с разной дозировкой извести.

Таблица 9 – Составы бетонных смесей на 1м³.

Материалы	Без добавки	Цемент + 20% извести	Цемент + 25% извести	Цемент 80% + 20% извести
Цемент	306,9 кг	306,9 кг	306,9 кг	245,5 кг
Вода	165 л	165 л	165 л	165 л
Известь	–	61,38 кг	76,73 кг	61,38 кг
Песок	938 кг	938 кг	938 кг	938 кг
Щебень	935 кг	935 кг	935 кг	935 кг
СП – 3	6 кг	6 кг	6 кг	6 кг
	Ц/В=1,86	Ц/В=2,23	Ц/В=2,32	Ц/В=1,86

Требуется определить вяжущую активность активной минеральной добавки по прочности на сжатие бетонных кубов в возрасте на 1-е сутки, 3-и сутки, 7-е сутки, 28-е сутки и ТВО, изготовленных с применением АМД, СП, цемента, песка и воды, по ГОСТ 10180-2012.

Весь процесс твердения бетонных образцов можно разделить на четыре основных этапа:

- предварительная выдержка бетона до начала схватывания;
- медленный подъем температуры до максимальной заданной;

- выдержка при этой температуре;
- последующее медленное охлаждение бетонных изделий.

Время выдержки и скорость подъема температуры зависят от:

- активности применяемого минерального вяжущего
- количества добавки
- жесткости бетонной смеси.

КНТ – камера нормального твердения, предназначенная для хранения бетонных образцов :при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, относительной влажности $95\pm 5\%$ по ГОСТ 10180-90.

ТВО – тепловлажностная обработка, процесс одновременного воздействия на твердеющий бетон тепла и влаги.

Образцы бетона испытывали в 1 и 28 сутки нормального твердения ($t = 20\pm 2^{\circ}\text{C}$, $W = 90\pm 5\%$), а также после тепловлажностной обработки, контролировали плотность и предел прочности при сжатии, результаты представлены в таблице 8.

Таблица 10 – Свойства бетона с известью.

Вид состава	Условия твердения	Ц/В, кг/л	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии образца, МПа	Предел прочности при сжатии бетона, Мпа	Доверительная ошибка, МПа
Без добавки	ТВО	1,63	2480	12,3	12,6	0,841
			2440	12,7		
			2470	12,8		
	КНТ, 1-е сутки		2420	3,5	3,5	0,184
			2370	3,4		
			2395	3,5		

Продолжение таблицы 10

Вид состава	Условия твердения	Ц/В, кг/л	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии образца, МПа	Предел прочности при сжатии бетона, Мпа	Доверительная ошибка, МПа
Без добавки	КНТ, 3-е сутки	1,63	2355	10,2	10	0,662
			2350	9,8		
			2274	10,1		
	КНТ, 7-е сутки		2363	14,1	14	0,551
			2267	13,8		
			2326	14,1		
	КНТ, 28-е сутки		2274	23,5	23,8	1,652
			2305	24,4		
			2390	23,5		
Цемент + 20% извести	ТВО	1,95	2400	16,5	16,7	1,102
			2355	16,5		
			2475	17,1		
	КНТ, 1-е сутки		2375	4,1	4	0,318
			2370	3,9		
			2364	4		
	КНТ, 3-е сутки		2280	11,1	11,2	0,661
			2350	11,2		
			2360	11,5		
	КНТ, 7-е сутки		2329	15,1	15	0,551
			2316	14,8		
			2320	15,1		

Продолжение таблицы 10

Вид состава	Условия твердения	Ц/В, кг/л	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии образца, МПа	Предел прочности при сжатии бетона, Мпа	Доверительная ошибка, МПа
Цемент +20% извести	КНТ, 28-е сутки	1,95	2309	24,9	25,2	1,147
			2319	25,1		
			2300	25,6		
Цемент + 25% извести	ТВО	2,03	2400	14,3	14,3	0,486
			2420	14,1		
			2395	14,4		
	КНТ, 1-е сутки		2345	5,3	5,5	0,485
			2320	5,6		
			2330	5,5		
	КНТ, 3-е сутки		2355	11,3	11,1	0,662
			2370	10,9		
			2360	11,2		
	КНТ, 7-е сутки		2325	14,3	14,4	0,636
			2350	14,7		
			2323	14,5		
	КНТ, 28-е сутки		2285	20,1	20	0,954
			2300	19,8		
			2297	20,4		
Цемент 80% + 20% извести	ТВО	1,63	2340	15,1	15	1,457
			2360	14,5		
			2355	15,4		

Окончание таблицы 10

Вид состава	Условия твердения	Ц/В, кг/л	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии образца, МПа	Предел прочности при сжатии бетона, Мпа	Доверительная ошибка, МПа
Цемент 80% + 20% извести	КНТ, 1-е сутки	1,63	2415	3,7	3,7	0,184
			2305	3,8		
			2375	3,7		
	КНТ, 3-е сутки		2350	10,8	11	0,636
			2360	11,2		
			2405	11		
	КНТ, 7-е сутки		2363	15,3	15,5	0,486
			2267	15,6		
			2315	15,5		
	КНТ, 28-е сутки		2326	23,9	24	0,841
			2365	24,3		
			2351	23,8		

Результаты испытаний на прочности на сжатие у образцов приведены на рисунке 3.

- Образец I – Бездобавочный цемент
- Образец II – Цемент + 20% извести
- Образец III – Цемент + 25% извести
- Образец IV – Цемент 80% + 20% извести

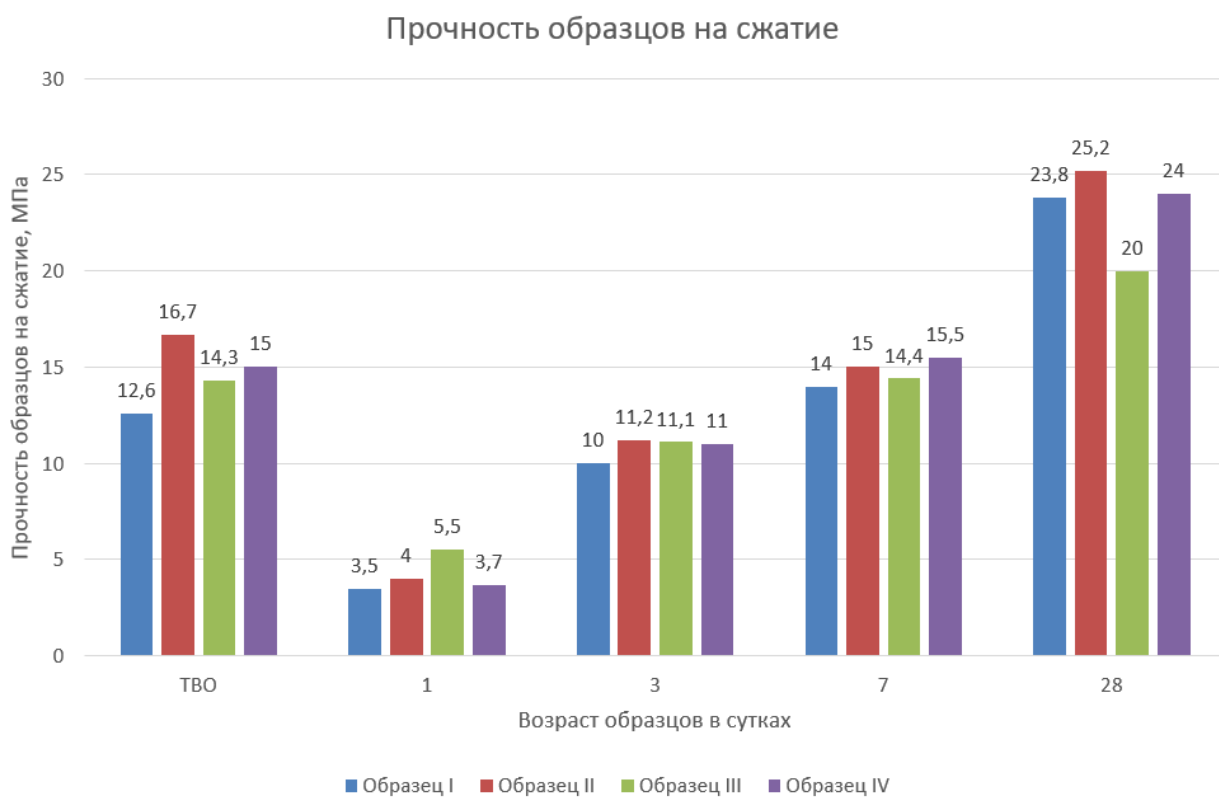


Рисунок 3 – Прочность образцов на сжатие

По данным диаграммы можно заметить, что образцы с добавлением извести показывают заметный прирост прочности в начальные сутки твердения и при ТВО, так как при добавлении извести в бетонной смеси происходит повышенное количество тепловыделения по сравнению с бездобавочной смесью. К двадцать восьмым суткам образцы показывают примерно равную прочность кроме образца номер III, так как повышенное содержание извести не способствует повышению прочности. Исходя из этого можно сделать вывод, что в данном эксперименте добавка извести способствует ускорению твердения бетона в начальные сутки твердения, а в двадцать восьмые сутки бездобавочная смесь показывает равную прочность, так как в ее составе больше прочных компонентов – гидросиликатов кальция.

3.2 Дериватографический анализ

С целью выявления влияния добавки негашеной извести в разных концентрациях на изменение фазового состава цементного камня использовали данные дериватографии. Для определения термических эффектов минералов использовали учебное пособие В.С. Горшков, В.В. Тимашев «Методы физико-химического анализа вяжущих веществ» [55]

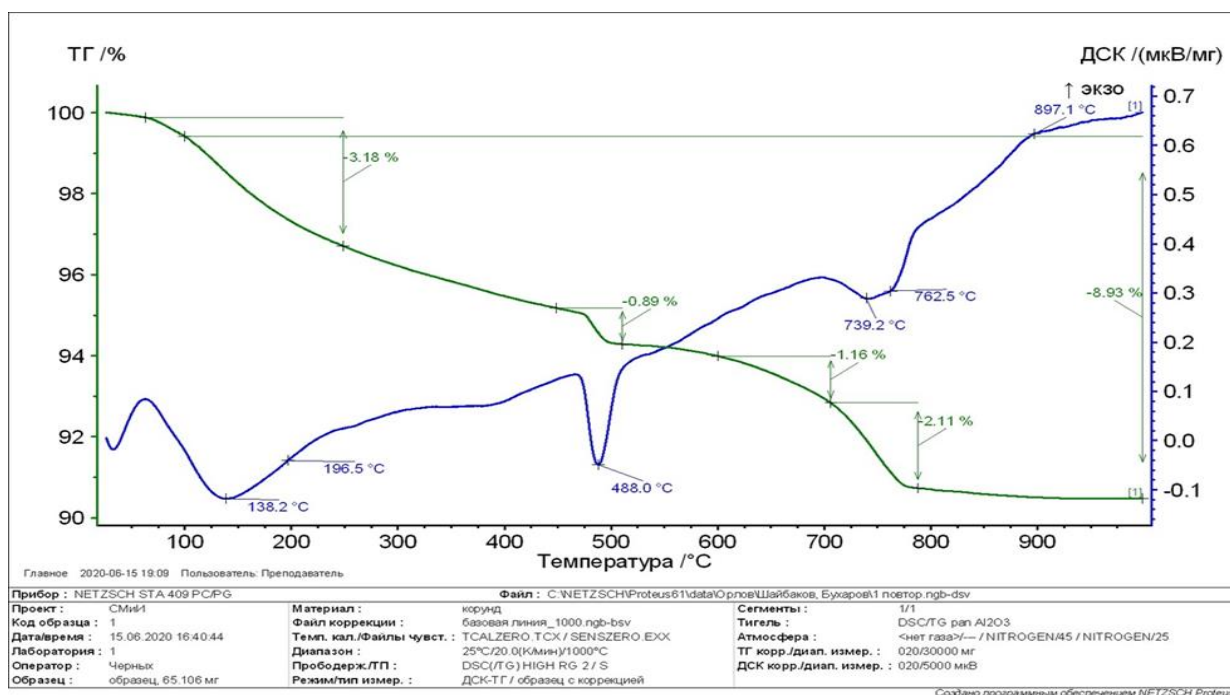


Рисунок 4 – Дериватограмма разложения образца бездобавочного цемента в 1 сутки твердения

На рисунке 6 фиксируется потеря массы при 488°С, соответствующая дегидратации гидроксида кальция, она составляет – 0,89%. При 739°С происходит декарбонизация известнякового компонента: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ она составляет – 2,11%. В этой же зоне при 739°С начинаются процессы разложения гидроксидов кальция потеря массы которых составляет 1,16%. По стехиометрическим уравнениям вычислили, что в контрольном образце содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 3.65 %, а CaCO_3 – 4,79 %.

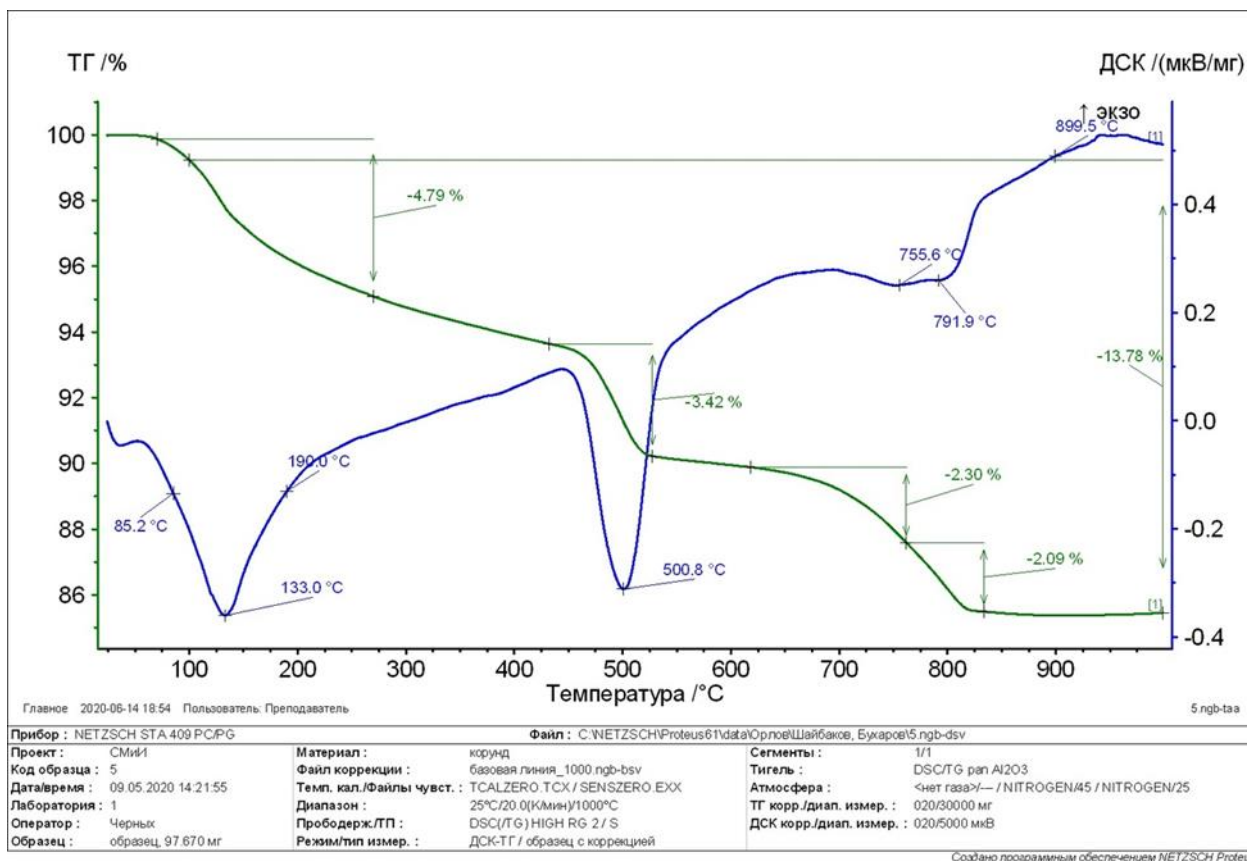


Рисунок 5 – Дериватограмма разложения образца цемента 100% + извести 20% в 1 сутки твердения

На рисунке 7 фиксируется потеря массы при 500°С, соответствующая дегидратации гидроксида кальция, она составляет – 3,42%. При 791°С происходит декарбонизация известнякового компонента: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ она составляет – 2,09%. В этой же зоне при 739°С начинаются процессы разложения гидроксидов кальция потеря массы которых составляет 1,16%. По стехиометрическим уравнениям вычислили, что в контрольном образце содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 14.06 % CaCO_3 – 4,75 %.

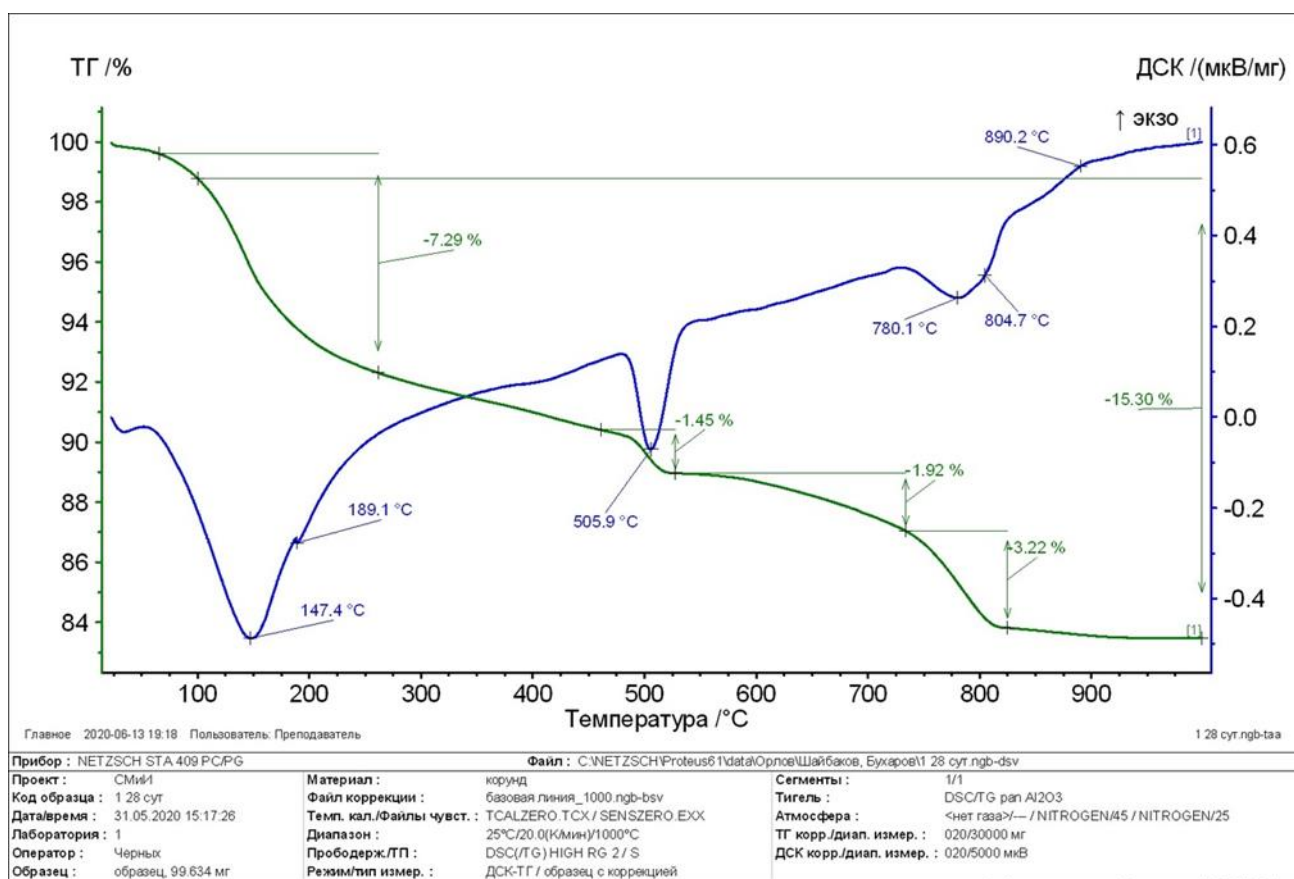


Рисунок 6 – Дериватограмма разложения образца бездобавочного цемента в 28 сутки твердения

На рисунке 8 фиксируется потеря массы при 505,9°C, соответствующая дегидратации гидроксида кальция, она составляет – 1,45%. При 804°C происходит декарбонизация известнякового компонента: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ она составляет – 3,22%. В этой же зоне при 739°C начинаются процессы разложения гидроксидов кальция потеря массы которых составляет 1,16%. По стехиометрическим уравнениям вычислили, что в контрольном образце содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 5,96% CaCO_3 – 7,31 %

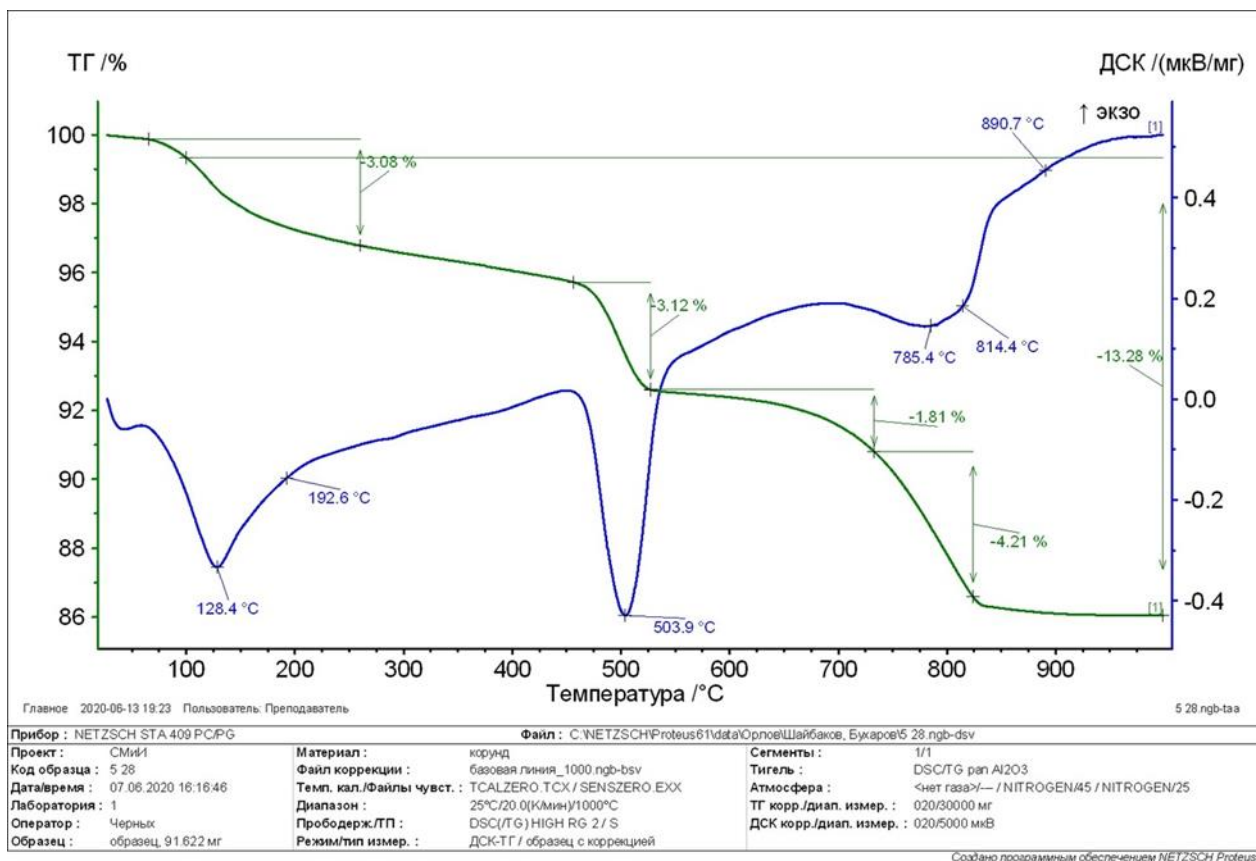


Рисунок 7 – Дериватограмма разложения образца цемента 100% + извести 20% в 28 сутки твердения

На рисунке 9 фиксируется потеря массы при 503,9°C, соответствующая дегидратации гидроксида кальция, она составляет – 3,12%. При 814,4°C происходит декарбонизация известнякового компонента: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ она составляет – 4,21%. В этой же зоне при 785°C начинаются процессы разложения гидроксидов кальция потеря массы которых составляет 1,81%. По стехиометрическим уравнениям вычислили, что в контрольном образце содержание Ca(OH)_2 – 12,82 % CaCO_3 – 9,56 %

Таблица 11 – Полученные результаты при ДТА

Образец	% от общей массы				Сумма продуктов гидратации
	H ₂ O	Ca(OH) ₂	CO ₂	CaCO ₃	
Цемент100% + Известь 0%. Первые сутки твердения.	0,89	3,65	2,11	4,79	11,44
Цемент 100% + Известь 20%. Первые сутки твердения.	3,42	14,06	2,09	4,75	24,32
Цемент100% + Известь 0%. Двадцать восьмые сутки твердения.	1,45	5,96	3,22	7,31	17,94
Цемент100% + Известь 20%. Двадцать восьмые сутки твердения.	3,12	12,82	4,21	9,56	29,71

Проведя анализ дериватограмм разложения образцов в первые сутки и двадцать восьмые сутки твердения состава на бездобавочном цементе и состава с добавкой извести в размере 20%, можно сделать вывод, что количество извести в первые сутки твердения на смеси с добавлением 20% извести увеличилось на 10,41% по сравнению с бездобавочной смесью, а в двадцать восьмые сутки на 6,86%, а количество связанной воды во всех фазах в первые сутки на смеси с добавлением 20% извести увеличилось на 4,85% по сравнению с бездобавочной смесью, а в двадцать восьмые сутки уменьшилось на 2,02%.

Потери массы при разложении карбоната кальция и потери кристаллизационной воды соединениями $3Ca \cdot SiO_2 \cdot H_2O$, $2Ca \cdot SiO_2 \cdot H_2O$

гидратированного цементного камня изменяются незначительно. Так же температуры разложения минералов по всей температурной шкале отличаются незначительно. Дополнительные минералы при введении извести в бетонную смесь не образовались.

При твердении и гидратации минералов портландцементного клинкера образуется значительное количество (5-15% от массы цемента) гидроксида кальция что обеспечивает щелочную среду в бетоне. Дополнительное введение негашеной извести в бетонную смесь, увеличит содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в бетоне. В итоге в бетоне будут образовываться высокоосновные гидросиликаты кальция, которые нестабильны, что может привести к щелочной коррозии бетона. Однако гидроксид кальция можно связать в гидросиликаты кальция, используя дисперсные добавки содержащие аморфные SiO_2 . Связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в гидросиликаты кальция способствует сокращению количества пор от размера 1нм и более (происходит заполнение пор продуктами его взаимодействия), а также, снижению щелочности среды бетона и формированию стабильных низкоосновных гидросиликатов кальция. Однако, щелочность среды не должна снижаться менее $\text{pH} = 12$, для гарантии защиты арматуры от коррозии.

ВЫВОД ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

Основная идея использования добавки оксида кальция как добавки в бетонную смесь состоит в ускорении твердения бетона без ухудшения эксплуатационных и технологических свойств бетона и бетонной смеси.

1. Установлено, что введение в бетонную смесь негашеной извести интенсифицирует процессы гидратации и минералообразования в цементном камне, за счет значительного тепловыделения.

2. Выявлено, что увеличение количества негашеной извести в бетонной смеси, увеличивает прочность цементного камня в начальные сутки твердения, благодаря интенсификации гидратации.

3. Выявлено, что введение негашеной извести не приводит к качественному изменению фазового состава цементного камня, но увеличивает степень гидратации, за счет ускорения гидратации и образования большого количества негашеной извести.

4. Доказано, что увеличение дозировки негашеной извести сверх оптимального, 20 % извести вместо части портландцемента, приводит к снижению прочности бетона в поздние сроки твердения.

5. Установлено, что введение негашеной извести в бетонную смесь приводит к образованию большого количества гидроксида кальция, что может значительно увеличивать pH бетона и стимулировать образование высокоосновных гидросиликатов кальция. Рекомендуется применение добавки негашеной извести с добавкой ультрадисперсного аморфного кремнезема.

4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Приведен расчет экономической эффективности для завода ООО «Бетотек» в применении бетонной смеси для производства тяжелого бетона с добавкой извести кипелки в соотношении 80% цемента и 20% извести в сравнении бетонной смеси на бездобавочном цементе.

4.1 Расчет состава бетонной смеси

Главной задачей при расчете состава является найти необходимое соотношение цементно-водного фактора для получения бетонной смеси с оптимальными характеристиками температуры твердения и прочности готового изделия.

Таблица 12 – Характеристики сырьевых материалов бетона

Характеристики	Наименование показателей	Единицы измерения	Значения
Бетона	Требуемая средняя прочность (R_b)	МПа	32
	Коэффициент вариации прочности ($V_{п}$)	%	8
	Отпускная прочность	-	$0,7 R_{ц}$
	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
	Нормальная густота (НГ)	%	30,5
Песка	Модуль крупности (M_k)	-	2,75

Окончание таблицы 12

Характеристики	Наименование показателей	Единицы измерения	Значения
Песка	Истинная плотность ($\rho_{и}$)	г/см ³	2,56
Крупного заполнителя	Вид (горная порода)	-	Щебень
	Средняя плотность ($\rho_{кз}$)	г/см ³	2,55

4.1.1 Определение Ц/В

По формуле определяем цементно-водное отношение определяющее требуемую прочность:

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_6^{28} - 0,06 * R_{ц}^{28} + 13}{0,24 * R_{ц}^{28} + 13} = \frac{32 - 0,06 * 42,5 + 13}{0,24 * 42,5 + 13} = 1,84 \quad (12)$$

4.1.2 Определение расхода воды

Ориентировочный расход воды для расчета и подбора номинального начального состава принимают по таблице 10.

Таблица 13 – Водопотребность бетонной смеси, л/м³

Удобоукладываемость Ж,с; ОК,см	Без добавок, л/м ³	С водоредуцирующей добавкой по ГОСТ 24211, л/м ³	С суперводоредуцирующей добавкой по ГОСТ 24211, л/м ³
Ж4 (31-50)	135	-	-
Ж3 (21-30)	145	-	-
Ж2 (10-20)	155	145	130
Ж1 (5-10)	170	160	145
П1 (1-4)	185	165	150
П2 (5-9)	205	185	165
П3 (10-15)	215	200	170
П4 (16-20)	230	210	185
П5 (21-25)	240	215	190

Предварительный расход воды при подвижности 5–9 см и наибольшей крупности щебня 20 мм будет равен 205 литров на 1 м³ .

4.1.3 Расход цемента

Расход цемента Ц, кг, на 1 м³ в начальном составе бетонной смеси рассчитывают по формуле:

$$Ц = \frac{Ц}{В} * В = 1,84 * 205 = 377,2 \text{ кг} \quad (13)$$

Где Ц/В – цементно-водное отношение, определенное по п. 3.1.1; В – расход воды, л, принятый по п 3.1.2

4.1.4 Абсолютный объем заполнителей

Абсолютный объем рассчитывается по формуле:

$$V = 1000 - V/\rho_{\text{в}} - Ц/\rho_{\text{ц}} = 1000 - 205/1000 - 377,2/3 = 874 \text{ л} \quad (14)$$

Где $\rho_{\text{ц}}$ – истинная плотность цемента, кг/л; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, принимаемая равной $\rho_{\text{в}} = \frac{1\text{кг}}{\text{л}}$

4.1.5 Количество мелкого заполнителя (песка)

Количество песка расчитывают по формуле :

$$П = V_3 * r * \rho_{\text{п}} = 874 * 0,5 * 2,56 = 1118,72 \text{ кг} \quad (15)$$

4.1.6 Количество крупного заполнителя:

$$Щ = V_3 * (1 - r) * \rho_{\text{щ}} = 874 * (1 - 0,5) * 2,55 = 1114,35 \text{ кг} \quad (16)$$

4.1.7 Количество извести

$$И = Ц * 0,20 = 377,2 * 0,20 = 75,4 \text{ кг} \quad (17)$$

4.1.8 Количество добавки СП-3

$$Д = \frac{0,2 * Ц}{100} = \frac{0,2 * 377,2}{100} = 0,75 \text{ кг} \quad (18)$$

4.1.9 Расход всех сырьевых материалов для бетонной смеси.

Таблица 14 – Расходы сырьевых материалов на 1м³

Сырьевые материалы	Бездобавочный состав	Цена	Цемент 80% + Известь 20%	Цена
Цемент	377,2	2500	301,8	2000
Известь	0	0	75,4	301,6
Песок	1118,72	250	1118,72	250
Щебень	1114,35	500	1114,35	500
Вода	205	20,5	205	20,5
СП-3	0,75	100	0,75	100
	Итого:	3370,5	Итого:	3172,1

Таким образом, можно сделать вывод, что введение негашенной извести в бетонную смесь в количестве 20 % от массы цемента, позволяет снизить себестоимость бетонной смеси на 6,24%. При этом введение негашенной извести увеличивает показатель прочности бетона на 13% в возрасте 28 суток. Остальные составы не позволяют снизить себестоимость бетонной смеси и по результатам испытаний значения прочностей образцов, изготовленных на этих составах, не позволяют увеличить прочность не увеличив себестоимость 1м³, чем цена за бездобавочную бетонную смесь.

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Основной задачей в сфере охраны труда является сохранение жизни и здоровья сотрудников в процессе трудовой деятельности. Выполнение правил, установленных законом, в сфере охраны труда – одна из главных статей, важных для организации предприятия. Добросовестное выполнение всех правил ведет к устойчивости производства, повышению благосостояния рабочих.

Пункты из сферы охраны труда, которые каждое предприятие должно выполнять:

- гарантия безопасности и здоровья всех работников во время их деятельности в предприятии;
- соблюдение прав сотрудников на охрану труда;
- исключение травм, чрезвычайных ситуаций, аварий, болезней, вызываемых профессиональной деятельностью;
- безусловное выполнение своих обязанностей по охране труда как сотрудником, так и руководителем, наличие ответственности за их неисполнение и отклонение от них.

Цели любого предприятия в сфере охраны труда:

- обеспечение таких обстоятельств, в которых работники могут добросовестно исполнять все пункты, предусмотренные законом в сфере охраны труда, также гарантирование безопасности зданий, в которых располагаются предприятия и работают сотрудники;
- результативное наблюдение и проверка выполнения сотрудниками обязательств по охране труда и обеспечению безопасности на предприятии;
- стимулирование и поощрение серьезного отношения к охране труда всех работников без учета их места в предприятии и должности;
- обеспечение доступа к верным данным об условиях на предприятии, соблюдении правил безопасности;
- постоянное информирование сотрудников о сфере охраны труда, обеспечение непрерывного обучения работников в данной сфере;

— уменьшение влияния опасных и вредных производственных факторов, которые могут нанести вред, вызвать болезни, угрожать жизни сотрудника, с помощью использования необходимых средств индивидуальной защиты (например, специальная форма одежды), а также с помощью установки наилучшего рабочего графика;

— создание проектов, направленных на предотвращение чрезвычайных происшествий на работе и болезней сотрудников;

— обеспечение покрытия сотрудникам тех потерь, которые они понесли на своем рабочем месте, эти потери могут быть связаны с неудовлетворительными условиями труда, также обеспечение лечения сотрудников в случае чрезвычайной ситуации или же болезни, поддержка работников путем выдачи путевок для улучшения собственного здоровья.

Охрана труда закреплена в законах, также привлечения внимания к важности этого вопроса проводятся различные социальные, экономические, организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда. Высший правовой акт, Конституция России закрепляет право каждого человека на охрану собственного труда. Также значимые правовые акты, в которых содержится основная информация об охране труда, - это Трудовой кодекс России, Гражданский кодекс России, Федеральный закон от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ «Об основах охраны труда в Российской Федерации», а также акты, расположенные в ССБТ – системе стандартом безопасности труда. Рисунок 10 ознакомит со списком источников, в которых говорится об охране труда.



Рисунок 8 – Структура документации, касающейся охраны труда.

Обязательство за ведение своего предприятия согласно охране труда, обязательство за условия труда на предприятии лежит на руководители и главном инженере 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]:

- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- запыленность воздуха рабочей зоны;
- повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная влажность воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочих местах;
- повышенный уровень вибрации на рабочих местах;

- физические и нервно-психические перегрузки;
- движущиеся транспортные средства, грузоподъемные машины, перемещаемые материалы;
- подвижные части оборудования и инструмента;
- острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности оборудования, инструмента;
- падающие предметы (элементы оборудования) и инструмент;
- расположение рабочих мест на значительной высоте (глубине) относительно поверхности пола (земли);
- замыкание электрических цепей через тело человека.

5.2 Значения факторов рабочей среды

5.2.1 Микроклимат рабочей среды

Приведенные ниже факторы оказывают серьезное воздействие на рабочий микроклимат:

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

ГОСТ 12.1.005 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»[14] - документ, в котором обозначены требования по микроклимату на работе. В настоящее время многие фабрики, которые изготавливают сухие массы для строительства, оснащены необходимой техникой, станками, машинами. Это способствует тому, что труд на них может быть причислен к труду средней тяжести, в упомянутом выше документе данная работа определена в класс II а, а интенсивность энергозатрат обозначена как 151-200 ккал/ч.

Наиболее приемлемые значения факторов микроклимата на предприятии обозначены в таблице 13:

Таблица 15 – Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на предприятиях

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Средней тяжести	18-20	15-23	40-60	75	0,2	Не более 0,3
Теплый	Средней тяжести	21-23	17-27	40-60	65(при 26°С)	0,3	0,2-0,4

Изготовление комплексного модификатора – это труд средней тяжести, для которой важен микроклимат на рабочем пространстве. Отопление и вентиляция на предприятиях такого рода производятся так, как это прописано в документе СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»[22].

5.2.2 Запыленность и загазованность рабочего пространства

Когда сотрудники работают с дисперсными строительными материалами во время их измерения и смешивания зачастую оседает множество пыли. Вентиляционная система «работает» на устранение больших объемов пыли с рабочего пространства согласно документу СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»[22]. Помимо этого, приборы, используемые для работы с сухими и рассыпчатыми веществами, следует содержать непроницаемыми, важно применять

устройства для чистки и удаления пыли. И, конечно же, незаменима исправная уборка пыли.

Пыль – рассеянное вещество, которое состоит из огромного количества твердых крупиц. Их величина исчисляется в долях миллиметра и даже микрометра. Из-за этого рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания и глаз. Конечно же, крайне важно и соблюдение правил личной гигиены на производстве: сотрудники могут на рабочем пространстве находиться только в специальной одежде, а принимать пищу могут только в специализированных пространствах.

5.2.3 Освещение рабочего места

То, каким должен быть свет на подобных предприятиях, закреплено в СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»[23]. На заводах, где изготавливается комплексная добавка, освещение должно присутствовать как естественное, так и искусственное. Это поможет создать ровный свет на всем рабочем пространстве.

Естественное освещение идет через световые проемы в наружных стенах, искусственное же должно быть представлено несколькими группами люминесцентных ламп.

Освещение на рабочем месте должно быть устроено по правилам, расписанным в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»[26].

5.2.4 Шум в рабочем пространстве

На предприятиях основным поставщиком шума будут приборы.

Интенсивное шумовое воздействие вызывает в слуховом анализаторе изменения, составляющие специфическую реакцию организма. Процесс адаптации слуховой системы выражается во временном смещении (повышение порогов слуховой чувствительности). При долговременном акустическом воздействии 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, шум помимо этого воздействует на человеческий мозг. Огромное количество шумового загрязнения на работе будет вести к проблемам со здоровьем, нарушению кровообращения, высокому артериальному давлению. Помимо этого есть ряд иных причин того, почему шумовое загрязнение стоит исключать. К ним относятся неспособность разобрать речь друг друга рабочими, невыносимые ощущения, быстрая усталость сотрудников, а значит и падение полезности работы.

В следующих документах содержится вся информация из данной области: ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности»[15], СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»[24].

Каким же образом справляться на работе с неминуемым шумом от приборов? Нужно прибегать к технике, не создающей шумовое загрязнение, а также обеспечивать всех рабочих средствами защиты от шума.

5.2.5 Вибрации в рабочем пространстве

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 I 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 II 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 III 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.[17, с. 3]

При производстве бетонных смесей чаще всего рабочие подвергаются воздействию локальной вибрации.

Существуют следующие способы, помогающие справиться с нежелательной вибрацией. Первый способ – технический. Он заключается в

том, чтобы уменьшить вибрацию путем исправления неполадок в ее источнике. Второй способ – технологический. Он предусматривает ослабление вибрации уже не в ее источнике, а по мере ее диффузии.

Первый способ представляет собой самый продуманный и эффективный. Это какие-либо технические решения, как, например, исключение дисбаланса, зазоров, люфтов, покупка и установка нового оборудования.

Разберемся в некоторых понятиях, относящихся к вибрации.

Виброизоляция – это метод борьбы с нежелательной вибрацией. Смысл его в том, чтобы сократить передаваемую вибрацию от каких-либо источников к объекту, который мы хотим защитить от вибрации. Чаще всего этим объектом является сам человек. Для осуществления этого используются добавочные приборы, которые располагают между двумя объектами, чтобы обезопасить один от вибрации.

Вибродемпфирование – это сокращение значений вибрации путем преобразования энергии, создаваемой вибрацией, в энергию тепловую.

Динамичное гашение – уменьшение вибрации посредством прикрепления к источнику колебаний добавочной системы. Данная новая колебательная система будет устанавливать свою частоту, подстраиваясь под источник. Важно правильно выбрать вес и жесткость виброгасителя для того, чтобы сократить колебания.

5.3 Безопасность производства и оборудования

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.

Предприятие обязано выполнить следующие условия для обеспечения сотрудников безопасными условиями работы:

— к трудовой деятельности могут приступать только те сотрудники предприятия, которые были ознакомлены со всеми нюансами охраны труда на своем рабочем пространстве, с безопасным выполнением своей работы, а также сдали контроль осведомленности;

— приборы и устройства на рабочем месте не могут содержать какие-либо небезопасные детали, также перед тем, как взяться за работу, сотрудник обязан удостовериться в рабочем состоянии прибора;

— площадь рабочего места и расположение всех деталей и предметов, необходимых для трудовой деятельности, должны отвечать установленным правилам;

— приступить к работе может только тот работник, который обеспечен всеми вещами для индивидуальной защиты;

— на том пространстве, где осуществляется производство, нельзя пребывать людям, которые не являются работниками и не имеют специального разрешения.

Документ СНИП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве»[27] устанавливает все правила, которые касаются работы на предприятии со всевозможными приборами и устройствами.

5.4 Электробезопасность

Для того, чтобы на производстве была соблюдена электробезопасность, нужны следующие меры: строительство электроустановок, обеспечение рабочих средствами индивидуальной защиты, организация мероприятий.

Документ ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»[18] устанавливает все правила, которые касаются электробезопасности на предприятиях. На предприятиях, которые занимаются изготовлением комплексной добавки, существуют следующие подходы для обеспечения безопасности. Это заземление, зануление, система защитного отключения на случай чрезвычайного происшествия. По правилам, прописанным в ГОСТ 12.1.030-81

«Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление»[19] разрешено вести заземление как к искусственным, так и естественным заземлителям.

Если появляется необходимость в напряжении, превышающем 36 вольт, то тогда надо обязательно закрыть провода, по которым протекает ток. Значения токов прикосновения, которые протекают сквозь человека, при чрезвычайных ситуациях не должны быть больше возможных значений, прописанных в ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»[20].

5.5 Пожаробезопасность

Для того, чтобы на производстве была соблюдена пожаробезопасность, нужны следующие меры: наличие работающих огнетушителей и иных средств, расположенных в открытых местах. На каком-либо предприятии источником пожара обычно становится электрическое оборудование или объекты, подверженные быстрому воспламенению. Документ ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»[21] устанавливает все правила, которые касаются пожарной безопасности. Производство, которое занимается изготовлением сухих масс и смесей, можно определить в группу «Д» по критерию пожароопасности. Это говорит о том, что на каждом заводе необходимы сигнализация, пожарный гидрат и средства защиты людей на случай пожара. Конечно же, важно и то, чтобы все сотрудники прослушали правила пожарной безопасности перед тем, как приступить к работе на том или ином предприятии.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Применение соляной кислоты и смеси извести-кипелки позволяет получать быстротвердеющие бетоны. Из факта саморазогрева бетона вытекает ряд важных следствий. Известно, что с повышением температуры среды схватывание цементов ускоряется. При самонагреве бетона повышается температура не среды, а самого цемента, но результат будет один и тот же: сроки схватывания цемента резко сокращаются.

2. Применение извести кипелки в бетонной смеси ускоряет расплабку изделий и увеличивает оборачиваемость форм за счет более быстрого набора прочности за счет высоких температур при бетонировании.

3. Самой главной и отличительной особенностью добавки извести кипелки в тяжелый бетон в том, что при зимнем бетонировании не требуется дополнительный прогрев бетонных изделий так как смесь выделяет высокие температуры.

4. Но так же есть и минусы к которым относится то что при гидратационном твердении бетонной смеси в бетоне возникают экзотермические эффекты и создаются большие термические напряжения сопровождающиеся с интенсивным тепловыделением происходит бурное выкипание воды, а выделяющийся пар разрушает кристаллическую решетку бетона. В связи с этим особенно в летнее время нужно поддерживать оптимальную температуру путем подбора рационального водоизвесткового фактора.

5. Установлено, что введение в бетонную смесь негашенной извести интенсифицирует процессы гидратации и минералообразования в цементном камне, за счет значительного тепловыделения.

6. Выявлено, что увеличение количества негашенной извести в бетонной смеси, увеличивает прочность цементного камня в начальные сутки твердения, благодаря интенсификации гидратации.

7. Выявлено, что введение негашеной извести не приводит к качественному изменению фазового состава цементного камня, но

увеличивает степень гидратации, за счет ускорения гидратации и образования большого количества негашеной извести.

8. Доказано, что увеличение дозировки негашеной извести сверх оптимального, 20 % извести вместо части портландцемента, приводит к снижению прочности бетона в поздние сроки твердения.

9. Установлено, что введение негашеной извести в бетонную смеси приводит к образованию большого количества гидроксида кальция, что может значительно увеличивать рН бетона и стимулировать образование высокоосновных гидросиликатов кальция. Рекомендуется применение добавки негашенной извести с добавкой ультрадисперсного аморфного кремнезема.

10. Отмечено, что введение негашенной извести в бетонную смесь в количестве 20 % от массы цемента, позволяет снизить себестоимость бетонной смеси на 6,24%. При этом введение негашенной извести увеличивает показатель прочности бетона на 13% в возрасте 28 суток. Остальные составы не позволяют снизить себестоимость бетонной смеси и по результатам испытаний значения прочностей образцов, изготовленных на этих составах, не позволяют увеличить прочность не увеличив себестоимость 1м^3 , чем цена за бездобавочную бетонную смесь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2) – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1989.
2. ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 11 с.
3. ГОСТ 30515–2013 «Цементы. Общие технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 37 с.
4. ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1987. – 8 с.
5. ГОСТ 8736–2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 7 с.
6. ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1993. – 11 с.
7. ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправками)» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1998. – 11 с.
8. ГОСТ 9179-77. «Известь строительная. Технические условия (с изменениями №1)» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2001. – 15 с.
9. ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 2012. – 11 с.
10. ГОСТ 10181–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» – М.: Изд-во «Издательство стандартов», 1990. – 11 с
11. ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема (с Изменением N 1)» - М.: Изд-во ИПК «Издательство стандартов», 1978

- 12.ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» – М.: Изд–во «Стандаринформ», 2013. – 30 с.
- 13.ГОСТ 28498-90 «Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний» – М.: Изд–во «Стандаринформ», 2015. – 23 с
- 14.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
- 15.ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» – М.: Изд–во ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 23 с.
- 16.ГОСТ 12.1.029–88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация» – М.: ИПК Издательство стандартов, 1988. – 4 с.
- 17.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.
- 18.ГОСТ 12.1.019 – 2017 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» – М.: Изд–во ФГУП «Стандартинформ», 2018. – 15 с.
- 19.ГОСТ 12.1.030-81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» – М.: Изд–во ФГУП «Стандартинформ», 1981. – 24 с.
- 20.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.

- 21.ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования» – М.: Изд-во ФГУП «Стандартинформ», 1992. – 64 с.
- 22.СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» – М.: Изд-во «Аналитик», 2012. – 75 с.
- 23.СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» – М.: «Минстрой России», 2016. – 102 с
- 24.СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» – М.: «Минздрав России», 1997. – 22 с.
- 25.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.
- 26.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.
- 27.СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 42 с.
- 28.Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, М.М. Сычѳв, В.В. Тимашев. – М., 1980. – 472 с.
- 29.Тейлор, Х. Химия цемента: пер. с англ. / Х. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
- 30.Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев – М.: Высш.школа, 1981. – 335 с.
- 31.Методическое пособие. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов Пособие от 01.01.2016

32. 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.
33. Коротков, С. Н. Пути экономии энергоресурсов при производстве железобетона / С. Н. Коротков // Бетон и железобетон. – 1982. – №3.
34. Барщевский Ю. А. Повышение прочности известковых растворов Сб. «Строительные материалы». Изд. Академии архитектуры УССР, Киев, 1949.
35. Боженков П. И. Новое в производстве и применении гидравлической извести. Сб. трудов ВНИТОС, Промстройиздат. 1949.
36. Боженков П. И., Полевухина А. П. Исключение гашения из процесса производства гидравлической извести. «Местные строительные материалы». Бюро технической информации МПСМ РСФСР, № 2, 1948
37. Вебер М. А., Кавалерова В. И. Двухступенчатый способ приготовления известкового раствора на молотой негашеной извести. «Строительная промышленность», 6, 1953.
38. Гоготова В. И. Молотая известь-кипелка. Сб. аннотаций научноисследовательских работ. Гос. изд. литературы по строительству и архитектуре, 1951.
39. Временные технические указания по приготовлению и применению молотой негашеной доломитизированной извести в строительных растворах. Л., 1950.
40. Григорьев П. Н. Применение извести в строительстве. Гос. изд. литературы по строительству и архитектуре, М., 1952
41. Ершов Л. Д., Кашперовская О. П. Технологические свойства молотой негашеной извести. Труды Центрального научно-исследовательского института строительных материалов УССР, вып. I, 1953.
42. Ершов Л. Д., Шкляр А. С. Молотая негашеная известь (на украинском языке). Киев, 1951.
43. Известь. Большая техническая энциклопедия, т. 8, 1938.

44. Инструкция по применению молотой негашеной извести в строительных растворах (разработана А. М. Шепетовым и Б. В. Осиным). «Сб. руководящих материалов и консультаций по строительству». № 6, 1941.

45. Инструкция по приготовлению и применению молотой негашеной извести в строительстве (И-112-51). Гос. изд. литературы по строительству и архитектуре, М., 1952. Разработана коллективом авторов: А. М. Шепетовым, Н. В. Лобачевым, Б. И. Рогальским, И. В. Смирновым и Б. В. Осиным

46. Кос ты р ко Е. В. Известь и ее применение в строительных растворах и бетонах. Госстройиздат, М., 1933.

47. Логгинов Г. И. Гидратационное твердение негашеной извести. Вестник АН СССР, № 7, 1954.

48. Макаренко М. А. Опыт применения извести-кипелки в зимних условиях. Сб. Гос. Союзной центральной научно-исследовательской строительной лаборатории, №1 1941.

49. Миронова М. Н. Использование молотой негашеной извести в строительных растворах. Сб. аннотаций научно-исследовательских работ по строительству. Гос. изд. литературы по строительству ч архитектуре, 1951.

50. О применении мслотой негашеной извести-кипелки в строительстве. «Сборник руководящих и технических указаний по строительству», № 5—6, Машстройиздат, М.

51. Смирнов И. В. Молотая негашеная известь в бетоне. Газета «Промышленность строительных материалов» от 15/III 1952, № 22 (300).

52. Кирьянов К.В. Калориметрические методы исследования: учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Современные методы исследования новых материалов электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем». Нижний Новгород, 2007, 76 с.

- 53.«Правила по охране труда при производстве цемента.» – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016. — 80 с.
- 54.Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. пособие / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев – М.: Высш.школа, 1981. – 335 с.
- 55.Concrete Technology Theory and Practice. Available at: <http://www.freepdfbook.com/concrete-technology-theory-and-practice/> (accessed 17 May 2020).
- 56.Concrete Technology (2006). Available at: <https://www.cement.org/learn/concrete-technology> (accessed 5 May 2020).
- 57.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 2020).
- 58.Influence of additives on flexural strength of concrete (2017). Available at: <https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/30/matecconf-trs2017-01019.pdf> (accessed 13 April 2020).
59. 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).
- 60.Quicklime and slaked lime in construction https://journal-cm.ru/images/files/2019/sm_8_034-035.pdf
- 61.The mechanical properties of lime concrete. Available at: <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=129995>
- 62.Effects of the presence of free lime nodules into concrete. Available at: https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/169078/1/lime_testing%2Bmodelling_final%20authors.pdf
- 63.Quicklime and slaked lime in construction https://journal-cm.ru/images/files/2019/sm_8_034-035.pdf