

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А.А. Мольков

ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторной работы для обучающихся по дисциплине «Строительные материалы» по направлению 08.03.01 «Строительство» и по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Нижний Новгород
2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А.А. Мольков

ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторной работы для обучающихся по дисциплине «Строительные материалы» по направлению 08.03.01 «Строительство» и по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Нижегород
ННГАСУ
2024

Мольков, А.А. Общестроительные цементы : учебно-методическое пособие / А.А. Мольков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – 34 с. – Текст : непосредственный.

В учебно-методическом пособии приведены содержание и последовательность выполнения лабораторной работы, приведены сведения о составе общестроительных цементов на основе портландцементного клинкера, описаны основные требования к ним, важнейшие характеристики их свойств и методы контроля.

Пособие предназначено для обучающихся в ННГАСУ по дисциплине «Строительные материалы» по направлению 08.03.01 «Строительство» и по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Содержание

Введение	4
1 Общие сведения	5
1.1 Портландцемент	5
1.2 Классификация общестроительных цементов	6
2 Технические требования и свойства общестроительных цементов	6
2.1 Технические требования	6
2.2 Свойства цементов	9
3 Испытание портландцемента	10
3.1 Отбор и подготовка проб цемента	10
3.2 Определение нормальной плотности цементного теста	12
3.3 Определение сроков схватывания цементного теста	16
3.4 Определение равномерности изменения объема цемента с использованием ко- лец Ле Шателье	18
3.5 Определение прочности	20
3.6 Определение тонкости помола цемента по остатку на сите	26
4 Установление класса цемента	27
Приложение А	29
Приложение Б	31
Приложение В	32
Список использованных источников	33

Введение

Цементы – это порошкообразные минеральные гидравлические вяжущие вещества, способные при смешении с водой (затворении) за счёт химических взаимодействий твердеть и длительное время сохранять прочность как в воде, так и на воздухе. При твердении вяжущее вещество может скреплять между собой частицы (зёрна) песка, щебня, гравия и других заполнителей.

По назначению цементы подразделяют на общестроительные, применяемые при массовом строительстве, и специальные с более узкими, специфическими задачами и областью применения.

К общестроительным цементам относятся, прежде всего, портландцемент и его разновидности, являющиеся главными материальными ресурсами современного строительства, назначением которых является обеспечение прочности и долговечности строительных изделий и конструкций. Цементы используются:

- в приготовлении товарных бетонных смесей для монолитного строительства;
- в производстве сборных бетонных и железобетонных изделий (фундаментные блоки, плиты перекрытий, сваи, балки, лестничные марши и т.д.);
- при строительстве инженерных сооружений;
- при изготовлении прочих искусственных каменных строительных материалов (газобетонные и пенобетонные блоки, тротуарная плитка, асбестоцементные изделия и т.д.);
- в сухих строительных смесях и строительных растворах.

Россия является одним из крупнейших производителей цемента в Европе. Основные требования к общестроительным цементам различных вещественных составов на основе портландцементного клинкера установлены в ГОСТ 31108-2020 [1] «Общестроительные цементы».

1 Общие сведения

1.1 Портландцемент – продукт тонкого измельчения клинкера, получаемого в результате равномерного обжига до спекания природного сырья или искусственной однородной сырьевой смеси определенного состава, содержащей известняк и глину [5]. В процессе помола клинкера добавляют гипсовый камень в количестве 3,5 % (в пересчёте на SO_3) и различные добавки.

Клинкер представляет собой твердые камневидные зерна зеленовато-серого или темно-серого цвета размером (10-60) мм и состоит, в основном, из четырех главных минералов, имеющих кристаллическую структуру (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Минералогический состав портландцементного клинкера

Минерал	Химическая формула	Обозначение	Содержание в клинкере, %
Трехкальциевый силикат (алит)	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	42-65
Двухкальциевый силикат (белит)	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	12-35
Трехкальциевый алюминат	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A	4-14
Четырехкальциевый алюмоферрит	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF	10-18

Содержание клинкерных минералов и их соотношения определяют свойства портландцемента.

C_3S (алит) является химически активным минералом, он оказывает решающее влияние на прочность и скорость твердения цемента. Взаимодействует с водой с большим тепловыделением. Алит обладает способностью быстро твердеть и набирать высокую прочность, поэтому его повышенное содержание обеспечивает получение из данного клинкера высокопрочного портландцемента.

C_2S (белит), затворенный водой, в начальный период твердеет медленно выделяя очень мало теплоты. Продукт твердения в течение первого месяца обладает невысокой прочностью, но затем на протяжении нескольких месяцев при благоприятных условиях прочность его неуклонно возрастает.

C_3A (трехкальциевый алюминат) характеризуется высокой химической активностью. В первые сутки твердения он выделяет наибольшее количество

теплоты при гидратации и быстро твердеет. Однако продукт его твердения имеет низкую прочность и малую стойкость против воздействия сернокислых соединений.

C_4AF (четырекальциевый алюмоферрит) характеризуется умеренным тепловыделением, твердеет он значительно медленнее, чем алит, но быстрее, чем белит. Прочность продуктов его гидратации несколько ниже, чем у алита.

1.2 Классификация общестроительных цементов

В соответствии с ГОСТ 31108-2020 [1] общестроительные цементы по вещественному составу подразделяют на шесть типов:

- ЦЕМ 0 — бездобавочный портландцемент;
- ЦЕМ I — портландцемент;
- ЦЕМ II — портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III — шлакопортландцемент;
- ЦЕМ IV — пуццолановый цемент;
- ЦЕМ V — композиционный цемент.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типов ЦЕМ II, ЦЕМ IV — ЦЕМ V в зависимости от содержания добавок подразделяют на подтипы А и В (за исключением цемента ЦЕМ II с добавкой микрокремнезема), а цемент типа III — на А, В и С.

2 Технические требования и свойства общестроительных цементов

2.1 Технические требования

Вещественный состав общестроительных цементов должен соответствовать значениям, указанным в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Вещественный состав общестроительных цементов

Тип цемента	Наименование цемента		Вещественный состав цемента, % масс. *										
			Основные компоненты									Вспомогательные компоненты	
			Портландцементный клинкер	Доменный или электрофосфорный шлаки гранулированные	Микрокремнезем	Пуццолана	Глиез	Зола-унос	Обоженный сланец	Белитовый шлам	Известняк		
Кл	Ш	Мк	П	Г	З	С	Бш	И					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ЦЕМ 0	Бездобавочный портландцемент	ЦЕМ 0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
ЦЕМ I	Портландцемент	ЦЕМ I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
ЦЕМ II	Портландцемент с минеральными добавками**												
	шлак	ЦЕМ П/А-Ш	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		ЦЕМ П/В-Ш	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	микрокремнезем	ЦЕМ П/А-Мк	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	0-5	
	пуццолана	ЦЕМ П/А-П	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		ЦЕМ П/В-П	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	глиез	ЦЕМ П/А-Г	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		ЦЕМ П/В-Г	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
	зола-унос	ЦЕМ П/А-З	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		ЦЕМ П/В-З	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	обоженный сланец	ЦЕМ П/А-Сл	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		ЦЕМ П/В-Сл	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	белитовый шлам	ЦЕМ II/A- Бш	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		ЦЕМ II/B- Бш	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	известняк	ЦЕМ II/A- И	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		ЦЕМ II/B- И	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Композиционный портландцемент***	ЦЕМ II/A- К	80-88	12-20									0-5
		ЦЕМ II/B- К	65-79	21-35									0-5
ЦЕМ III	Шлакопортланд- цемент	ЦЕМ III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		ЦЕМ III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		ЦЕМ III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
ЦЕМ IV	Пуццолановый це- мент	ЦЕМ IV/A	65-89	-	11-35				-	-	-	0-5	
		ЦЕМ IV/B	45-64	-	36-55				-	-	-	0-5	
ЦЕМ V	Композиционный цемент	ЦЕМ V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	0-5	
		ЦЕМ V/B	20-38	31-49	-	31-49			-	-	-	0-5	
Примечания. * Значения относятся к сумме основных и вспомогательных компонентов (кроме гипса), принятой за 100 %. ** В наименовании цементов типа ЦЕМ II (кроме композиционного портландцемента) вместо слов «с минеральной добавкой» указывают наименование минеральных добавок - основных компонентов. *** Обозначение вида минеральных добавок - основных компонентов должно быть указано в наименовании цемента.													

По прочности цементы подразделяются на три класса: 32,5; 42,5 и 52,5. Число класса обозначает минимальную (гарантированную) прочность стандартных цементно-песчаных образцов на сжатие в мегапаскалях (МПа) в возрасте 28 суток. По прочности на сжатие, достигаемой в возрасте 2 (7) суток, (по скорости твердения) каждый класс цементов подразделяют на три подкласса: М (медленнотвердеющий), Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий), см. таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Требования к физико-механическим показателям цементов

Класс, подкласс прочности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут			
			не менее	не более		
32,5М	-	12	32,5	52,5	75	10
32,5Н	-	16				
32,5Б	10	-				
42,5М	-	16	42,5	62,5	60	
42,5Н	10	-				
42,5Б	20	-				
52,5М	10	-	52,5	-	45	
52,5Н	20	-				
52,5Б	30	-				

2.2 Свойства цементов

Свойства цементов удобно рассматривать по группам: свойства исходного вяжущего (порошкообразного материала), свойства цементного теста и свойства затвердевшего цемента.

Основные свойства цемента как порошкообразного вяжущего:

- тонкость помола;
- удельная поверхность;
- истинная плотность;
- насыпная плотность.

При смешении цемента с водой (затворении) образуется однородная пластичная смесь, называемая цементным тестом (цемент + вода = **цементное тесто**).

Основные характеристики цементного теста:

- нормальная густота цементного теста;
- сроки схватывания цементного теста нормальной густоты;
- ложное схватывание;
- теплота гидратации (тепловыделение).

Свойства затвердевшего цемента оценивают по:

- равномерности изменения объема при твердении;
- прочности при изгибе;
- прочности при сжатии.

Испытанию подвергают стандартные образцы-балочки изготовленные из цементно-песчаной растворной смеси.

Далее рассмотрены некоторые методы определения свойств общестроительных цементов, определяемые в соответствии с действующим стандартом на методы испытаний ГОСТ 30744-2001 [2].

3 Испытание портландцемента

Лабораторная работа по испытанию портландцемента состоит из двух частей. На первом занятии, как правило, выполняют определение нормальной плотности цементного теста, сроков схватывания, заполнение колец Ле Шателье для определения равномерности изменения объема цемента и изготавливают образцы для определения прочности. На втором занятии определяют равномерность изменения объема цемента на кольцах Ле Шателье, тонкость помола и определяют прочность цемента.

3.1 Отбор и подготовка проб цемента

Отбор проб цемента при производственном контроле осуществляют в соответствии с технической документацией производителя. Цемент отгружают и принимают партиями. Партией называют определенное количество однородного материала, поступившее на склад или производство, или отпущенное со склада единовременно. Отбор проб производится по ГОСТ 30515-2013 [4].

Отбор точечных проб цемента, упакованного в мешки, мягкие контейнеры или другую тару, а также из специализированных транспортных средств при перевозке цемента без упаковки, проводят не менее чем из пяти единиц упаковок

или транспортных средств, выбранных случайным образом. В случае если контролируемая масса цемента состоит из пяти или менее единиц упаковок или специализированных транспортных средств, точечную пробу примерно одинаковой массы берут от каждой из них.

Из мешков, мягких контейнеров или другой тары пробу берут с глубины не менее 15 см, но не более 15 см от дна контейнера (тары). При глубине тары менее 30 см пробы отбирают из середины слоя. Отбор проб из специализированных транспортных средств при перевозке цемента без упаковки проводят из потока цемента при его погрузке или разгрузке. Допускается проводить отбор проб через верхний люк транспортного средства с глубины не менее 15 см.

Масса точечных проб должна быть такой, чтобы масса объединенной пробы, составленной из них, была не менее 20 кг при проверке качества цемента изготовителем, потребителем и органами надзора и не менее 30 кг при проверке качества цемента в случае предъявления претензий потребителем.

Для приготовления объединенной пробы все точечные пробы, отобранные из одной партии (части партии), соединяют и тщательно перемешивают ручным или механическим способом.

Из объединенной пробы получают лабораторные пробы массой около 8 кг каждая.

При контроле качества цемента потребителем или органами надзора из объединенной пробы получают три лабораторные пробы. Первую пробу направляют в аккредитованную испытательную лабораторию третьей стороны, вторая остается у потребителя или изготовителя, третья хранится у изготовителя не менее трех месяцев. При контроле качества цемента в случае предъявления потребителем претензии из объединенной пробы получают три лабораторные пробы. Первую пробу направляют в аккредитованную испытательную лабораторию третьей стороны, вторую и третью — изготовителю и потребителю.

Каждая лабораторная проба должна быть упакована и в течение трех рабочих дней, не считая дня отбора, направлена в соответствующую лабораторию для испытаний.

Упаковка и хранение проб должны обеспечивать сохранность свойств контролируемого цемента. Тара, в которую упаковывают пробы, должна быть чистой, сухой, воздухо- и влагонепроницаемой и изготовлена из материала инертного по отношению к цементу. Перед испытанием каждую пробу просеивают через сито с сеткой №09.

Пробу для выполнения лабораторной работы готовят сотрудники кафедры.

3.2 Определение нормальной густоты цементного теста

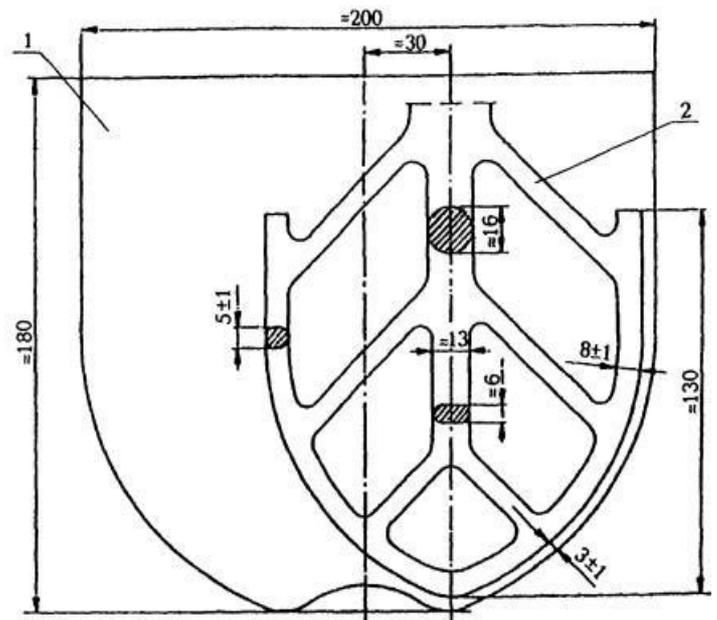
В зависимости от состава цемента, тонкости помола и вида добавок требуется различное количество воды для получения цементного теста определенной пластичности. Установление соотношения между содержанием воды и цемента (В/Ц), обеспечивающего так называемую нормальную густоту цементного теста (НГЦТ), является важнейшим испытанием цемента. Это соотношение В/Ц должно быть соблюдено при последующих испытаниях.

3.2.1 Приготовление цементного теста производят в помещении при температуре (20 ± 2) °С и относительной влажности воздуха не менее 65 % в смесителе. Внешний вид смесителя и размеры его чаши с лопастью приведены на рисунке 3.1.

Смеситель имеет приспособление, позволяющее закреплять чашу вместимостью около 5 л неподвижно на станине и изменять положение чаши по высоте относительно лопасти для регулирования зазора между ними. При работе смесителя вращение лопасти вокруг собственной оси и планетарное перемещение ее по периметру чаши должны осуществляться в противоположных направлениях со скоростью, указанной в таблице 3.1.



Внешний вид смесителя АЛС-5



Чаша и лопасть смесителя
для приготовления цементного теста:
1 – чаша; 2 – лопасть.

Рисунок 3.1 – Лабораторный смеситель с чашей затворения

Таблица 3.1 – Рабочие скорости смесителя при испытаниях цемента

Ступень скорости	Скорость вращения лопасти смесителя, об/мин	
	вокруг собственной оси	при планетарном перемещении относительно оси чаши
Малая	140 ± 5	62 ± 5
Большая	285 ± 10	125 ± 10

С использованием мерного цилиндра отмеряют воду в количестве, предположительно необходимом для получения цементного теста нормальной густоты, и выливают в чашу смесителя, предварительно протертую влажной тканью.

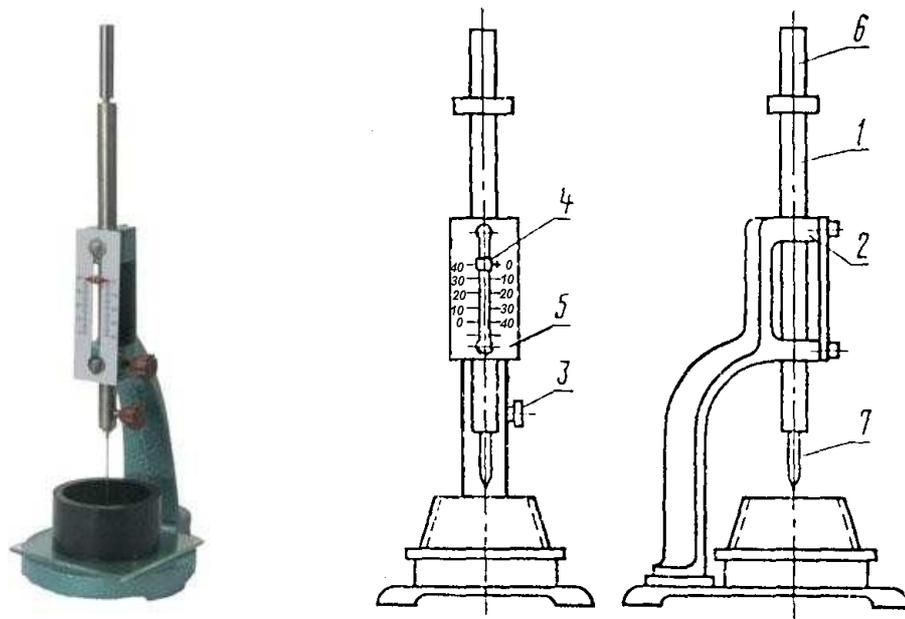
Взвешивают 500 г цемента с погрешностью не более 1 г. Осторожно в течение (5-10) с высыпают взвешенный цемент в чашу с водой и включают перемешивание в смесителе с малой скоростью. Время окончания высыпания цемента в воду считают началом затворения. Для контроля длительности испытаний включают секундомер или запускают смеситель в автоматическом

режиме. Через 90 с перемешивание в смесителе останавливают на 15 с и снимают скребком тесто, налипшее на стенках чаши, сдвигая его в середину чаши. Затем продолжают перемешивание с той же скоростью в течение 90 с. Суммарное время перемешивания должно составлять 3 мин, не считая времени остановки.

3.2.2 Определение нормальной густоты цементного теста выполняют на приборе Вика́. Прибор Вика́ (рисунок 3.2) состоит из цилиндрического металлического стержня, который свободно перемещается в обойме станины в вертикальном направлении и может фиксироваться на требуемой высоте с помощью стопорного устройства. На стержне имеется указатель для отсчета перемещения его относительно шкалы с ценой деления 1 мм. Общая масса перемещающейся части прибора Вика́ должна быть (300 ± 1) г и сохраняется при взаимной перестановке пестика и иглы либо с помощью дополнительного пригруза, закрепляемого в верхнем конце стержня прибора.

В комплект прибора входят: стальной стержень-пестик (диаметром $10,00 \pm 0,05$ мм и длиной 50 ± 1 мм), стальная игла (диаметром $1,13 \pm 0,05$ мм и длиной 50 ± 1 мм) и кольцо с пластиной. Кольцо и пластинка должны быть изготовлены из нержавеющей стали, пластмассы или другого не впитывающего воду материала. Форма и размеры кольца должны соответствовать приведенным на рисунке 3.3. Размер пластинки, на которую устанавливают кольцо, должен превышать диаметр кольца, толщина пластинки должна быть не менее 2,5 мм. *Допускается применять цилиндрическое кольцо высотой $(40 \pm 0,2)$ мм при условии получения тех же результатов, как и при определении с кольцом в виде усеченного конуса.*

Перед началом испытаний проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика́. Для установления достоверности показаний прибора пестик или иглу опускают до соприкосновения с поверхностью пластинки, на которой расположено кольцо с цементным тестом. При этом положении указатель-стрелку на шкале переводят на нулевую отметку.



1 – цилиндрический металлический стержень; 2 – обойма станины;
3 – зажимный винт; 4 – указатель-стрелка; 5 – шкала; 6 – пестик; 7 – игла
Рисунок 3.2 – Прибор Вика

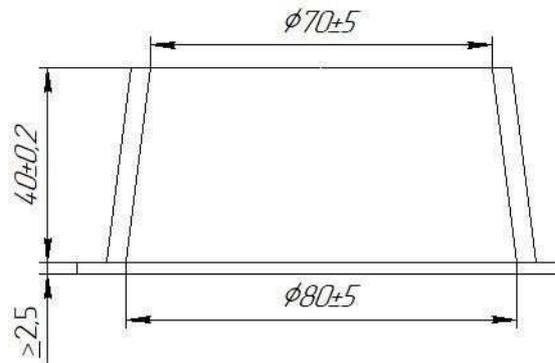


Рисунок 3.3 – Кольцо прибора Вика

Нормальную густоту цементного теста определяют следующим образом. Приготовленное цементное тесто быстро за один прием переносят в кольцо прибора Вика, размещенное на пластинке. Заполнение кольца тестом производят с избытком, но без уплотнения или вибрации. Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца до получения ровной поверхности. Кольцо и пластинку перед началом опыта смазывают тонким слоем машинного масла (на лабораторной работе допускается не смазывать маслом, а протирать влажной тканью).

На приборе Вика́ устанавливают пестик. Кольцо с цементным тестом размещают на приборе Вика́ так, чтобы пестик находился в середине кольца. Спустя 4 мин после затворения цемента водой пестик прибора приводят в соприкосновение с поверхностью теста и закрепляют стержень зажимным винтом. Через (1-2) с быстро отвинчивают зажимной винт, стержень освобождается, и пестик свободно погружается в тесто. Одновременно засекают время погружения. Через 30 с производят отсчет погружения пестика в цементное тесто по шкале прибора.

Нормальной густотой цементного теста считают такую консистенцию, при которой пестик прибора, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на (5-7) мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Если глубина погружения пестика окажется меньше или больше указанной, испытания повторяют, соответственно увеличивая или уменьшая количество воды затворения до погружения пестика на требуемую глубину. Результаты испытаний и количество воды фиксируются для каждого опыта.

За нормальную густоту цементного теста (НГЦТ) принимают количество воды (В) затворения в процентах от массы цемента (Ц), при котором достигается нормированная консистенция цементного теста.

$$\text{НГЦТ} = \frac{В}{Ц} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

Результат вычисления округляют до 0,25 %. Показатель НГЦТ для различных видов цементов находится в пределах (20-40) %.

3.3 Определение сроков схватывания цементного теста

Для определения начала схватывания цемента готовят *тесто нормальной густоты* (в начале затворения цемента засекают время), заполняют им кольцо прибора Вика́, в нижний конец стержня прибора вставляют иглу (рисунок 3.2) и проверяют готовность прибора к проведению испытания (нулевая отметка).

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

Началом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на (4 ± 1) мм. Результат определения записывают с округлением до 5 мин.

Требования по времени начала схватывания к общестроительным цементам различных классов, нормируемые в ГОСТ 31108-2020 [1], представлены в таблице 2.2.

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

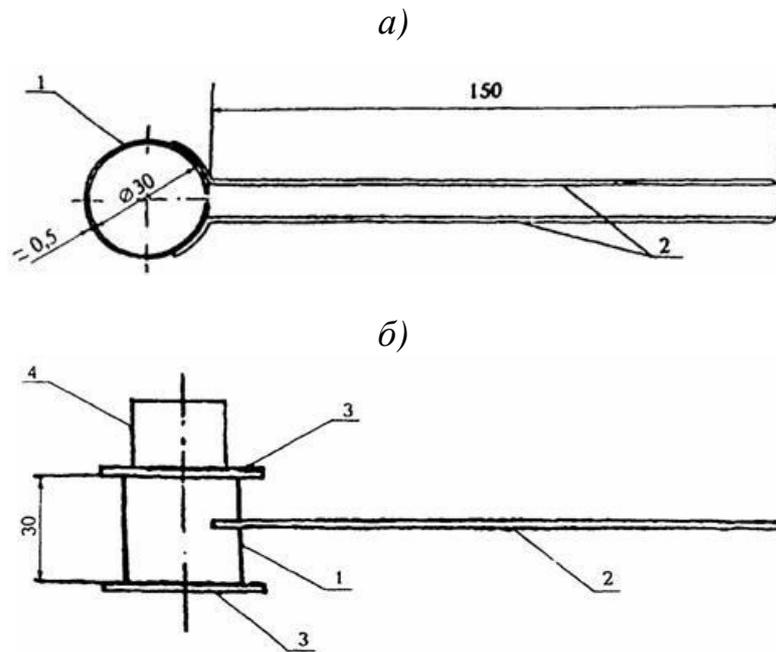
Концом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 1 мм. Результат

определения записывают с округлением до 15 мин. Конец схватывания общестроительных цементов по ГОСТ 31108-2020 [1] не нормируется.

3.4 Определение равномерности изменения объема цемента с использованием колец Ле Шателье

Процесс твердения цемента сопровождается изменением объема твердеющей системы. При отклонениях в составе сырьевой смеси или в технологии производства в цементном клинкере может содержаться избыточное количество оксида кальция СаО (более 1 %) и оксида магния MgO (более 5 %). При затворении таких цементов водой может происходить длительное (медленное) гашение указанных компонентов, что вызывает неравномерное увеличение объема твердеющего цемента и приводит к деформациям и растрескиванию цементного камня. Для выявления такой опасности проводят испытание цементного теста нормальной густоты при ускорении его твердения кипячением в воде, оценивая величину расширения образцов в кольцах Ле Шателье (рисунок 3.4).

Готовят цементное *тесто нормальной густоты*. Кольца Ле Шателье, выполненные из латуни, и стеклянные пластинки перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла. Кольца устанавливают на пластинки и наполняют в один прием цементным тестом с избытком, но без уплотнения или вибрации. Для одного испытания заполняют два кольца из одного замеса цементного теста. Избыток цементного теста срезают ножом, протертым влажной тканью, вровень с краями кольца. Затем кольца накрывают сверху пластинками, на которые устанавливают пригруз, и помещают в камеру влажного хранения, где выдерживают в течение 24 ч. (Температура в камере (шкафу) влажного хранения должна быть (20 ± 1) °С, относительная влажность - не менее 90 %. Температуру и влажность следует регистрировать непрерывно или периодически не реже, чем через каждые 4 ч).



а – вид сверху, б – вид сбоку:

1 – кольцо с прорезью, 2 – индикаторная игла,
3 – стеклянные пластинки, 4 – пригруз

Рисунок 3.4 - Конструкция и размеры кольца Ле Шателье:

По истечении суток после предварительного твердения кольца извлекают из камеры, измеряют штангенциркулем расстояние между концами индикаторных игл с погрешностью не более 0,5 мм (начальное измерение), освобождают от пластинок и пригруза и помещают в бачок для кипячения индикаторными иглами вверх. Воду в бачке доводят до кипения за (30 ± 5) мин и выдерживают кольца в кипящей воде в течение (180 ± 5) мин. Уровень воды в бачке должен быть выше размещенных на подставке колец на 4 – 6 см в течение всего времени кипячения.

После окончания кипячения кольца извлекают из воды, дают им остыть до температуры помещения, после чего измеряют расстояние между раздвинутыми концами индикаторных игл (конечное измерение), см. рисунок 3.5.

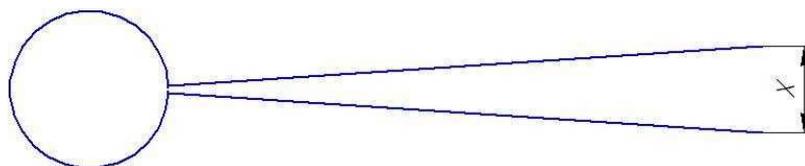


Рисунок 3.5 – Схема измерения расстояния между иглами кольца
Ле Шателье

Вычисляют разность между значениями конечного и начального измерений для каждого кольца. За расширение образцов в кольце Ле Шателье принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений. Результат вычисления округляют до 0,5 мм.

Полученный показатель «разность между значениями конечного и начального измерений» является количественной характеристикой равномерности изменения объема (расширения) для всех видов общестроительных цементов и не должен превышать 10 мм.

3.5 Определение прочности

Рациональное применение цемента возможно только при оценке прочностных свойств материалов и изделий на его основе. В соответствии с ГОСТ 30744-2001 [2] определение прочности (активности) цемента выполняют испытанием образцов-балочек приготовленных из стандартной *растворной смеси*.

3.5.1 Стандартную растворную смесь готовят из смеси цемента, стандартного полифракционного песка (по ГОСТ 6139-2020 [3]), взятых в соотношении 1 : 3 по массе, и воды при соблюдении водоцементного отношения В/Ц=0,5. Требования к зерновому составу полифракционного кварцевого песка отражены в приложении В.

Стандартную растворную смесь готовят в лабораторном смесителе, для чего отмеряют 450 г цемента, 1350 г стандартного полифракционного песка и 225 г воды.

Песок высыпают в дозирующее устройство смесителя. В предварительно протертую влажной тканью чашу смесителя выливают воду и добавляют цемент, после чего включают смеситель. Дальнейшая процедура приготовления растворной смеси приведена в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Режим приготовления стандартной растворной смеси

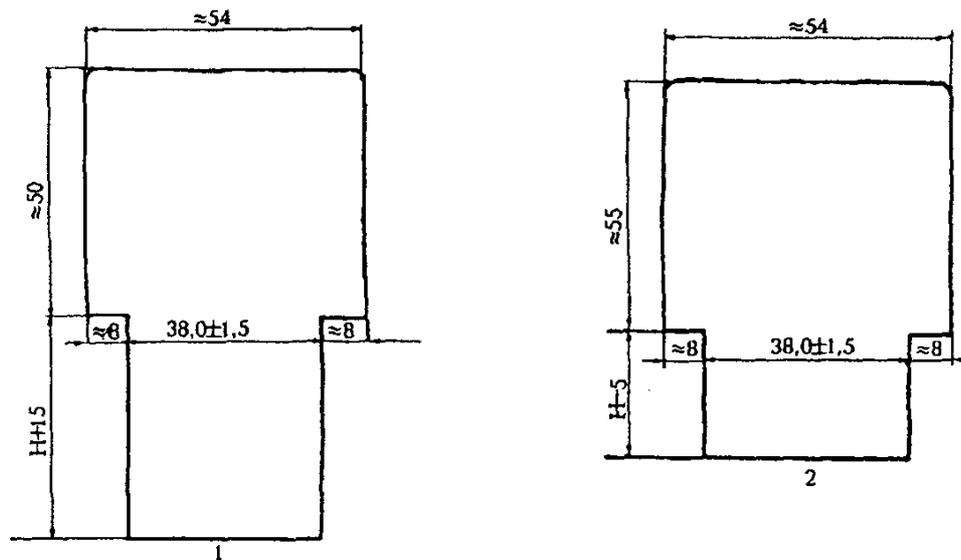
Наименование и последовательность операций	Скорость вращения лопасти	Продолжительность операции, с
Перемешивание цемента с водой	Малая	30
Дозирование песка	»	30
Перемешивание растворной смеси	Большая	30
Остановка (в том числе сбор растворной смеси со стенок чаши в середину)	-	90 (первые 15)
Перемешивание растворной смеси	Большая	60

3.5.2 Из полученной стандартной растворной смеси готовятся 3 образца-балочки размером 160x40x40 мм. Балочки формируют в металлической разборной форме, внешний вид которой приведен на рисунке 3.6. Перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок формы и опорной плиты смазывают тонким слоем машинного масла. На подготовленную форму устанавливают насадку, далее форму устанавливают на платформу встряхивающего стола и закрепляют зажимами. От приготовленной растворной смеси из чаши смесителя лопаткой отбирают поочередно три порции растворной смеси массой около 300 г каждая и заполняют первым слоем отсеки формы. Растворную смесь выравнивают лопаткой для первого слоя (рисунок 3.7), которую в вертикальном положении помещают плечиками на стенки насадки и перемещают по одному разу туда и обратно вдоль каждого отсека формы. Затем включают встряхивающий стол и уплотняют первый слой растворной смеси за рабочий цикл из 60 ударов.



Рисунок 3.6 – Форма для изготовления образцов-балочек

После уплотнения первого слоя отсеки формы равномерно заполняют оставшейся в чаше растворной смесью и выравнивают её лопаткой для второго слоя (рисунок 3.7), перемещая её аналогично выравниванию первого слоя. Снова включают встряхивающий стол и уплотняют второй слой цементного раствора за рабочий цикл из 60 ударов.



1 – лопатка для первого слоя; 2 – лопатка для второго слоя Рисунок 3.7 – Приспособления для укладки цементного раствора в форму

По окончании уплотнения форму снимают с встряхивающего стола, с формы снимают насадку и ребром металлической линейки, расположенной перпендикулярно к поверхности образцов, удаляют излишек растворной смеси пилообразными движениями вдоль формы по одному разу туда и обратно. Затем выравнивают поверхность образцов той же линейкой, наклоненной почти до горизонтального положения, и производят их маркировку.

Для уплотнения растворной смеси в форме допускается использовать вибрационные площадки с вертикальной амплитудой колебаний $(0,35 \pm 0,03)$ мм и частотой колебаний 3000 в мин, укомплектованные реле времени. *(Время уплотнения раствора должно быть подобрано таким образом, чтобы средняя масса образца-балочки, уплотненного на встряхивающем столе, после 1 сут*

твердения в камере (шкафу) влажного хранения отличалась от средней массы образца-балочки, уплотненного на вибрационной площадке и твердевшего в аналогичных условиях, не более чем на 1,0 %).

При уплотнении раствора на вибрационной площадке форму закрепляют в центре вибрационной площадки, плотно прижимая ее к плите. Форму по высоте наполняют приблизительно на 1 см растворной смесью и включают вибрационную площадку. В течение первых 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют растворной смесью. По истечении приблизительно 3 мин от начала вибрации вибрационную площадку отключают и форму отсоединяют от плиты вибрационной площадки.

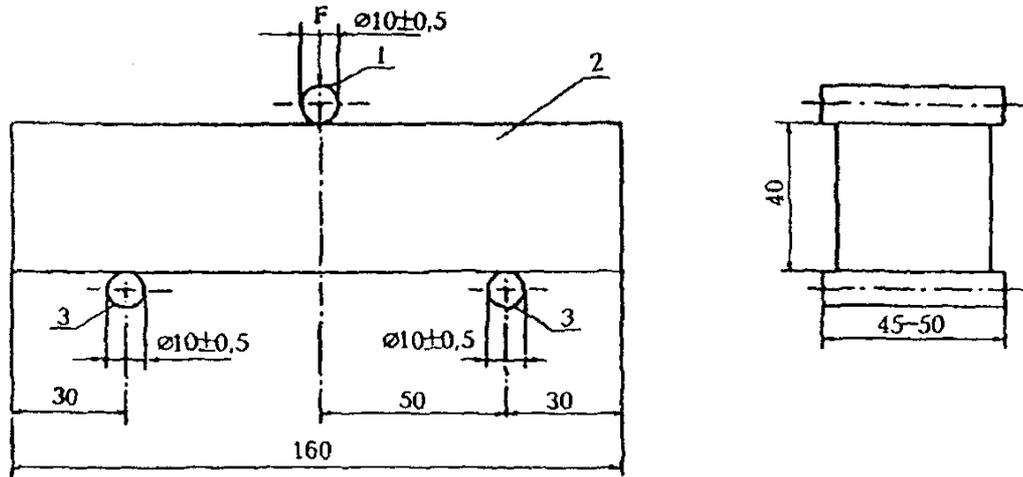
На лабораторной работе студенты производят уплотнение растворной смеси, используя вибрационную площадку.

Затем формы накрывают стеклянными пластинками, слегка смазанными машинным маслом, и помещают в камеру влажного хранения. Через 24 ч с момента изготовления образцы осторожно без повреждений вынимают из формы. Затем их укладывают на решетки в ванну с водой в горизонтальном положении заглаженной поверхностью вверх так, чтобы они не соприкасались друг с другом, а уровень воды был выше образцов не менее чем на 2 см. Температура воды при хранении образцов (20 ± 1) °С. Через каждые 14 сут половину объема воды в ванне меняют на свежую воду.

По истечении срока хранения в зависимости от установленных требований и вида цемента (через 2 или 7 и через 28 суток) образцы-балочки испытывают. Непосредственно перед испытанием с поверхности образцов удаляют капли воды влажной тканью.

3.5.3 Испытание образцов-балочек на изгиб производят на соответствующем испытательном оборудовании, например, на машине МИИ-100. Образец устанавливают на опорные элементы прибора (расстояние между нижними опорами 100 мм) таким образом, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю (рисунок 3.8). Средняя скорость

нарастания нагрузки на образец должна быть (50 ± 10) Н/с. Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ (МПа) фиксируется счетчиком прибора. Результат испытаний вычисляют как среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов испытаний трех образцов. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.



1 – нагрузочный элемент; 2 – образец-балочка; 3 – опора

Рисунок 3.8 – Схема расположения образца-балочки при испытании на изгиб

При испытании с использованием другого оборудования предел прочности при изгибе рассчитывается по формуле

$$R_{изг} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F \cdot l}{b \cdot h^2}, \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

где F – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, Н;

l – расстояние между осями опор, мм, $l = 100$ мм;

b – ширина образца, мм;

h – высота образца посередине пролета, мм.

Результаты по определению прочности при изгибе для общестроительных цементов, выпускающихся по ГОСТ 31108-2020 [1], не принимаются во внимание при установлении классов прочности.

3.5.4 Полученные после испытаний на изгиб шесть половинок образцов-балочек сразу же испытывают на сжатие. Испытания проводят на гидравлическом прессе, например, МС-100. Половинку образца-балочки помещают между

нажимными пластинками таким образом, чтобы его грани, горизонтальные при изготовлении, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю (рисунок 3.9).

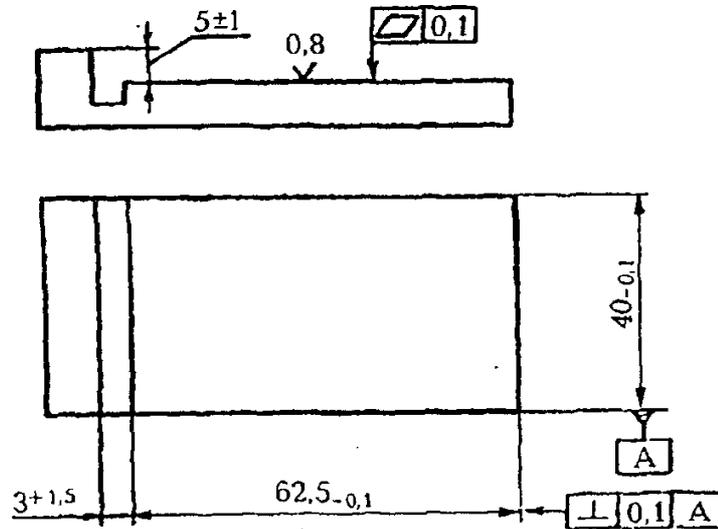


Рисунок 3.9 – Нажимная пластинка для передачи нагрузки на половинку образца-балочки

Применение пластинок вызвано сложностью учета расчетной площади сечения образца-половинки после испытаний на изгиб. Пластинки для передачи нагрузки изготавливают из стали. Их размер 40х62,5 мм, рабочая площадь пластинок составляет 2500 мм².

Образец, помещенный между пластинками, центрируют на опорной плите прессы. Нагрузку увеличивают со скоростью (2400 ± 200) Н/с до разрушения образца.

Прочность на сжатие $R_{сж}$ (МПа) отдельной половинки образца-балочки вычисляют по формуле

$$R_{cm} = \frac{F}{S}, \text{ МПа}, \quad (3.3)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

S – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, мм². $S=2500$ мм².

За прочность на сжатие принимают среднеарифметическое значение результатов испытаний шести половинок образцов-балочек. Результат

вычисления округляют до 0,1 МПа. Если один из шести результатов отличается более чем на 10 % от среднеарифметического значения, этот результат следует

исключить и рассчитывать среднеарифметическое значение для оставшихся пяти результатов. Если еще один результат отличается более чем на 10 % от среднеарифметического значения оставшихся пяти результатов, испытания считают выполненными неудовлетворительно, в этом случае все результаты признают недействительными.

Результаты по определению прочности при сжатии для общестроительных цементов, выпускающихся по ГОСТ 31108-2020 [1], учитываются при установлении классов прочности.

3.6 Определение тонкости помола цемента по остатку на сите

Важнейшей характеристикой цемента является его степень измельчения. Цементный порошок представляет собой смесь частиц различного размера от долей микрометра до (100-150) мкм. Средний размер частиц цемента составляет (15-20) мкм. В результате помола понижается размер цементных зерен, возрастает их суммарная поверхность, следовательно, увеличивается возможность контактов для взаимодействия цемента с водой, возрастает скорость реакций твердения. Чем тоньше цемент измельчен, тем выше его качество, тем большей вяжущей способностью он обладает, тем быстрее нарастает прочность цементного камня.

Тонкость помола цемента определяют ситовым анализом по ГОСТ 30744-2001 [2]. Для просеивания используются сита с сеткой № 009, допускается применение сита с сеткой № 008 (т.е. размер отверстий сита 0,08x0,08 мм). Сито представляет собой цилиндрическую обойму диаметром (150- 200) мм и высотой (40-100) мм, в которой на расстоянии около 10 мм от нижнего края натянута и плотно зажата контрольная сетка. Сито имеет подситную тарелку и крышку.

От пробы отбирают необходимое количество цемента, помещают в стеклянную колбу, закрывают пробкой и встряхивают вручную в течение 2 мин для деагрегирования, после чего оставляют в покое на 2 мин, а затем

перемешивают чистым сухим стержнем для равномерного распределения мелких частиц.

При использовании прибора для механического просеивания берут навеску цемента (m_1) 50 г, при ручном просеивании навеску массой 10 г (взвешивание производят с погрешностью не более 0,01 г). Навеску высыпают на сито, установленное на подситной тарелке. Сито закрывают крышкой и просеивают. Операцию просеивания считают законченной, если при контрольном просеивании сквозь сито проходит не более 0,1 % массы цемента (0,05 г или 0,01 г соответственно). Контрольное просеивание выполняют вручную при снятой подситной тарелке на бумагу в течение 1 мин.

Остаток на сите взвешивают (m_2). Тонкость помола определяется:

$$П = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100, \% \quad (3.4)$$

Испытания проводятся дважды, за тонкость помола принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно быть более 1 % среднеарифметического значения. Если расхождение более 1 %, проводят третье определение и за тонкость помола принимают среднеарифметическое значение результатов трех определений. Результат вычисления округляют до 0,1 %.

В соответствии с ГОСТ 31108-2020 [1] тонкость помола общестроительных цементов не нормируется, однако является важным показателем.

4 Установление класса цемента

Полученные в ходе испытаний цемента результаты сравнивают с техническими требованиями ГОСТ 31108-2020 [1] (представлены в таблице 2.2), отраженными в паспорте (в документе о качестве) на партию цемента, и дается заключение о его соответствии.

На основании данных о вещественном составе цементов с учетом результатов испытаний основных свойств им дается условное обозначение (приложение А).

Условное обозначение цементов должно состоять из:

- наименования цемента (по таблице 2.1);
- сокращенного обозначения цемента, включающего обозначение типа и подтипа цемента и вида добавки (по таблице 2.1);
- класса прочности (по таблице 2.2);
- обозначения подкласса, учитывающего скорость твердения цемента (по таблице 2.2);
- обозначения действующего стандарта (ГОСТ 31108-2020 [1]).

Приложение А

Примеры условных обозначений цементов по ГОСТ 31108-2020 [1]

Портландцемент без вспомогательных компонентов и минеральных добавок типа ЦЕМ 0. класса прочности 52,5, нормальноотвердеющий:

Бездобавочный портландцемент ЦЕМ 0 52.5Н ГОСТ 31108—2020

Портландцемент типа ЦЕМ I, класса прочности 42.5, быстротвердеющий:

Портландцемент ЦЕМ I/42.5Б ГОСТ 31108—2020

Портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В со шлаком (Ш) от 21 % до 35 %, класса прочности 32.5, нормальноотвердеющий:

Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/В-Ш 32.5Н ГОСТ 31108—2020

Портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа А с известняком (И) от 6 % до 20 %, класса прочности 32.5, нормальноотвердеющий:

Портландцемент с известняком ЦЕМ II/А-И 32.5Н ГОСТ 31108—2020

Композиционный портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа В с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы-уноса (З) и известняка (И) от 21 % до 35 %, класса прочности 32,5, быстротвердеющий:

Композиционный портландцемент ЦЕМ II/В-К(Ш-З-И) 32.5Б ГОСТ 31108—2020

Шлакопортландцемент типа ЦЕМ III, подтипа А с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 % до 65 %, класса прочности 42,5, нормальноотвердеющий:

Шлакопортландцемент ЦЕМ III/А 42.5Н ГОСТ 31108—2020

Шлакопортландцемент типа ЦЕМ III, подтипа С с содержанием доменного гранулированного шлака от 81 % до 95 %, класса прочности 32,5, медленноотвердеющий:

Шлакопортландцемент ЦЕМ III/С 32.5М ГОСТ 31108—2020

Пуццолановый цемент типа ЦЕМ IV, подтипа А с суммарным содержанием пуццоланы (П), золы уноса (З) и микрокремнезема (Мк) от 11 % до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий:

Пуццолановый цемент ЦЕМ IV/A (П-З-Мк) 32,5Н ГОСТ 31108—2020

Композиционный цемент типа ЦЕМ V, подтипа А с содержанием доменного гранулированного шлака (Ш) от 18 % до 30 % и золы-уноса (З) от 18 % до 30 %, класса прочности 32,5. медленнотвердеющий:

Композиционный цемент ЦЕМ V/A(Ш-З) 32,5М ГОСТ 31108— 2020

Приложение Б

Рекомендации по применению общестроительных цементов

При выборе цемента для проведения конкретных строительных работ или для производства строительных материалов следует учесть следующее:

- класс прочности цемента (должен быть согласован с требуемыми прочностными характеристиками изделий, раствора или бетона);
- условия затворения и твердения вяжущего;
- требования технологии производства изделий на основе цемента;
- особенности доставки, хранения и срок годности цемента;
- условия эксплуатации конструкций с использованием цементных материалов.

Данные о соответствии основных классов по ГОСТ 31108-2020 [1] и марок по ГОСТ 10178-85 [6] общестроительных цементов приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – Ориентировочное соответствие классов общестроительных цементов, производимых по ГОСТ 31108-2020 и марок общестроительных цементов, производимых по ГОСТ 10178-85

Класс прочности по ГОСТ 31108-2003	Марка по прочности ГОСТ 10178-85
32,5	400, 500
42,5	500, 550, 600
52,5	600

Цементы класса прочности 32,5 рекомендуется использовать для изготовления бетонов класса В15-В30, цементы класса прочности 42,5 – для изготовления бетонов класса В15-В40, а цементы класса прочности 52,5 – для изготовления бетонов более высоких классов.

Приложение В

Таблица В.1 – Основные характеристики песка для испытаний цемента (ГОСТ 6139-2020 [3])

Наименование показателя	Значение показателя
Содержание оксида кремния SiO ₂ , не менее, %	98
Влажность, не более, %	0,2
Потеря массы при прокаливании, не более, %	0,5
Содержание глинистых и илистых примесей, не более, %	1

Таблица В.2 – Требования к зерновому составу песка (ГОСТ 6139-2020 [3])

Вид песка	Полный остаток, %, на контрольных ситах с размером стороны ячейки, мм						
	2,00	1,60	1,00	0,90	0,50	0,16	0,08
Полифракционный	-	2-12	28-38	-	62-72	82-92	98-100

Список использованных источников

- 1 ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия.
- 2 ГОСТ 30744-2001 Цемент. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
- 3 ГОСТ 6139-2020 Песок для испытаний цемента. Технические условия.
- 4 ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия.
- 5 Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение : Учеб. пособие для строит. специальностей / И.А. Рыбьев. - М. : Высш. шк., 2002. - 701 с. : ил.
- 6 ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

Мольков Алексей Александрович

ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЕ ЦЕМЕНТЫ

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы для обучающихся по дисциплине «Строительные материалы» по направлению 08.03.01 «Строительство» и по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Подписано в печать

Формат 60x90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.

Уч.-изд. л. 2,1 Усл. печ. л. 2,3 Тираж 50 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
603000, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603000, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

<http://www.nngasu.ru>, rector@nngasu.ru