

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ АКАДЕМИЯ ХУДОЖЕСТВ ИМЕНИ ИЛЬИ РЕПИНА»
(САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ АКАДЕМИЯ ХУДОЖЕСТВ)



ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ

Кафедра инженерно-строительных дисциплин

Задачин Ф.Д.

Шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург

2022 год

В память о профессоре Глуховском Викторе Дмитриевиче - моем учителе (см. Приложение 1, с.36).



Рис.1 Портрет профессора Глуховского В.Д.

Учебно-методическое пособие

Для студентов Архитектурного факультета СПб Академии художеств имени Ильи Репина, обучающихся по направлениям подготовки «Архитектура», «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» уровней бакалавриата, магистратуры, ассистентуры-стажировки (кадров высшей квалификации) в условиях внеаудиторной подготовки и в целях формирования у них профессиональных (общепрофессиональных) компетенций по дисциплине «Архитектурное материаловедение», которое предваряет изучение дисциплин, «Железобетонные конструкции», «Современные конструкции и материалы», «Архитектурно-строительные технологии».

Пособие также может быть полезно для студентов других высших учебных заведений, архитектурно-строительной направленности.

Рецензенты:

А.Н. Бирюков

доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ, Заведующий кафедрой Технологии, организации и экономики строительства Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева (ВАМТО) МО РФ.

А.П. Лейкин

к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Строительные материалы» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС).

Сведения об авторе:

Задачин Ф.Д. к.т.н., доцент, в должности доцента кафедры инженерно-строительных дисциплин (ИСД).

Автор выражает благодарность профессору кафедры ИСД Остапчук-Петровской Лианне Борисовне за редактирование и структурирование текста пособия.

Аннотация

В пособии приведены материалы о разновидности вяжущих веществ и бетонов на их основе, в том числе, в области ресурсосберегающих технологий, информации об их физико-механических свойствах, полученных, в том числе, по результатам научно-практических исследований автора данного пособия, и которые изучаются в соответствии с учебной программой дисциплины: «Архитектурное материаловедение».

В пособии приведены основные сведения об истории создания шлакощелочных вяжущих в СССР и Российской Федерации. В пособии, также, приведены сведения о сырьевой базе для производства вяжущих и бетонов из некондиционных заполнителей, их свойствах, области применения теоретических знаний, отраженных в пособии и необходимых при изучении дисциплин «Архитектурное материаловедение», «Железобетонные конструкции», «Современные конструкции и материалы», «Архитектурно-строительные технологии».

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по программам Архитектурного факультета Академии художеств имени Ильи Репина, а также для студентов других учебных заведений архитектурно-строительного профиля. Учитывая проблематику пособия, изучение его должно предварять изучение следующих дисциплин: «Железобетонные конструкции», «Современные конструкции и материалы», «Архитектурно-строительные технологии» в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 07.03.01 «Архитектура» («Бакалавриат»), 7.04.01 «Архитектура» («Магистратура»), 07.04.01 «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» («Бакалавриат»), 07.04.02 «Реставрация и реконструкция архитектурного наследия» («Магистратура»), когда у студентов уже должны быть сформированы профессиональные компетенции (ПК), полученные ими в широком аспекте при изучении дисциплины «Архитектурное материаловедение».

В результате ознакомления с материалами пособия студенты смогут на внеаудиторной основе расширить полученные ими знания в процессе аудиторного обучения и значительно расширить свой уровень общепрофессиональных компетенций.

Методическое пособие помимо научно-познавательного и практического значения включает воспитательную функцию (память о людях, которые тебя учили, значение экологии как среды обитания человека и патриотическое восприятие освободительной миссии ВС РФ территории Донбасса от националистической армии ВСУ).

Содержание

Введение	6
Термины и определения, включенные в теоретическую часть пособия	9
Раздел 1. Общие сведения о шлакощелочных вяжущих веществах	14
Раздел 2. Сведения о сырьевой базе для производства шлакощелочных вяжущих веществ	17
Раздел 3. Основные свойства шлакощелочных вяжущих	20
Раздел 4. Виды бетонов на основе шлакощелочных вяжущих и их основные свойства	25
Раздел 5. Метод подбора начального состава шлакощелочного бетона по межзерновой пустотности смеси заполнителей	27
Технологическая схема совместного производства ШЩВ и ШЩБ с бетонами на основе ПЦ в условиях типовых растворобетонных узлов (РБУ)	29
Раздел 6. Перспективы использования шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов на их основе в строительстве, в том числе, при реконструкции и реставрации объектов культурного наследия	30
Заключение	32
Вопросы для контроля освоения изученного материала	33
Список использованной нормативной и библиографической литературы	33
Нормативная литература	33
Библиографическая литература	35
Приложение 1. Краткая справка о научно-профессиональной деятельности профессора В.Д. Глуховского	36

Введение

На современном этапе развития промышленности в области стройиндустрии важной задачей является расширение сырьевой базы и создание экономичных по своей себестоимости стройматериалов и конструкций.

Регионы, в которых находятся металлургические предприятия, предприятия по производству химических веществ и другие, технологии которых ухудшают экологию, зачастую представляют собой зоны экологических бедствий, несмотря на требования, предъявляемых к предприятиям, со стороны надзорных органов. На территории районов в этих регионах сосредотачиваются шлаковые отвалы и шламы от химических стоков.

Вопросам экологии среды обитания человечества на современном этапе уделяется большое внимание Правительствами всех государств мира и особенно в странах Европы.

Президент и Правительство Российской Федерации в своей программной деятельности по развитию промышленности уделяют серьезное внимание сохранению природных ресурсов, борьбе со снижением вредных технологических выбросов производств, в том числе, в стройиндустрии, выдвигая требования по максимальному использованию местных сырьевых ресурсов и отходов промышленного производства.

Отсюда следует обратить особое внимание на экологический и экономический аспект, предлагаемых бетонов на основе шлакощелочных вяжущих. Экологический аспект заключается в том, что отходы металлургического производства обращаются в масштабные залежи, серьезно засоряющие местность в районе предприятий и пагубно отражаются на состоянии экологии. Расчистка таких мест восстанавливает экологию и обуславливает снижение стоимости бетонов, за счет использования в шлакощелочных вяжущих при изготовлении бетона залежалых отходов металлургического производства. Применение шлакощелочных вяжущих (ШЩВ), растворов, бетонов на их основе целесообразно широко и при реконструкции, реставрации объектов культурного наследия.

Безопасность среды обитания людей зависит от множества факторов, в том числе, и таких как качество строительных материалов и конструкций, обеспечивающих в целом надежность современных зданий и сооружений и их долговечность. В зданиях и сооружениях человек проводит основное время своей жизнедеятельности.

Правительство Российской Федерации через свои структуры, в частности, такие как Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий в настоящее время уделяет большое внимание пересмотру и приведению всех действующих нормативных документов соответствию их новым требованиям. Эти требования продиктованы применением новых технологий в сферах строительства и строительных материалов и с учетом сложности самого процесса выполнения работ. Особенно соблюдение этих требований необходимо контролировать при возведении высотных зданий и сооружений, в соответствии с положением Федерального закона №384-ФЗ от 30.12.2009г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

В соответствии с частью 1 статьи 6 вышеуказанного закона Правительство Российской Федерации своим постановлением № 1521 от 26 декабря 2014 года утвердило «Перечень национальных стандартов сводов правил» (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых в обязательном порядке обеспечивается выполнение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Требования осталь-

ных стандартов, не вошедших в этот перечень, являются рекомендательными и применяются при организации верификации (т.е. оценке соответствия их документам о качестве паспортам строительных материалов) на стадии входного контроля и при выполнении строительного контроля на всех стадиях производства работ, начиная с проектирования, согласованного с Заказчиком. Настоящее

Методическое пособие разработано в дополнение к учебным программам по курсу «Архитектурное материаловедение» в соответствии с основными требованиями нормативных документов в области строительства.

В связи с минимальным количеством часов в учебной программе обучения на практическое ознакомление со всеми видами строительных материалов, определению их физико-механических свойств данное пособие особенно актуально при изучении следующих дисциплин: «Архитектурное материаловедение», «Железобетонные конструкции», «Современные конструкции и материалы», «Архитектурно-строительные технологии» в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 07.03.01 «Архитектура» (бакалавриат), 07.04.01 «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия» (бакалавриат).

Материал пособия так же актуален для обучающихся в учебных заведениях строительного профиля с целью самостоятельного изучения для углубления знаний в области строительных материалов.

Пособие охватывает основные сведения по истории создания шлакощелочных вяжущих (ШЩВ) и бетонов на их основе в нашей стране, так же сырьевой базе и технологии их производства, перспективы применения, в том числе, и в области архитектуры.

На современном этапе развития промышленности и жилищного строительства как в целом по стране, так и в отдельных регионах, развитию стройиндустрии уделяется особо важное внимание.

Большой вклад в развитие стройиндустрии с получением экономического эффекта может быть внесен широким использованием местных сырьевых ресурсов и попутных продуктов других отраслей промышленности, прежде всего металлургической, химической, энергетической, горнодобывающей.

В настоящее время самым распространенным и универсальным материалом является цементный бетон, получаемый на основе разновидностей портландцемента. К специальным цементам относятся: шлакопортландцемент, быстротвердеющий портландцемент, сульфатостойкий портландцемент, глиноземистые, кислотоупорные, декоративные цементы и другие. Несмотря на значительные объемы производства разновидностей портландцемента в стране, его всегда было недостаточно для нужд строительства и велись его закупки, в частности, в Китае и Турции. В настоящее время, учитывая политические и экономические условия этот процесс затруднен.

Попутные продукты металлургической промышленности – гранулированные шлаки, широко применяются при производстве вяжущих. Основная масса гранулированного шлака, производимого в стране, идет для производства портландцементов, выпускаемых в недостаточном количестве. Увеличение объемов выпуска вяжущих веществ, из-за недостатка сырья требует их доставки из других промышленных регионов. При этом необходимы масштабные мероприятия по развитию промышленности нерудных материалов. Все труднее становится обеспечить промышленность стройиндустрии возрастающими потребностями в качественных заполнителях для бетонов и растворов. Стоимость стандартных заполнителей для высокопрочных бетонов, которые широко применяются в строительстве высотных сооружений, таких как, например, «Лахта центр» в Санкт-Петербурге, составляет около 50-60% стоимости самого высокопрочного бетона.

Многие регионы нашей страны совершенно лишены качественных заполнителей бетона. К сожалению, распространенные местные рыхлые горные породы непригодны для приготовления высокопрочных бетонов на основе портландцементов. Они вызывают перерасход цемента в бетонной смеси, так как грунтовые частицы очень дисперсны, особенно их глинистые и пылеватые включения. Для примера, Саудовская Аравия для приготовления высокопрочных бетонов экспортирует качественные заполнители из Шотландии и других государств, при этом, не считая это дорогостоящим мероприятием.

Основу производства портландцемента составляют преимущественно соединения кальция, являющегося щелочноземельным металлом второй группы периодической системы Д.М. Менделеева. В современном строительстве применяют большое количество вяжущих общего и специального назначения. При изучении специальных вяжущих веществ (цементов) необходимо изучить компоненты для их производства, основные свойства и условия их применения.

Для связывания более дисперсных компонентов бетона, которыми являются некондиционные заполнители, нужны более активные вяжущие, обладающие высокими адгезионными свойствами (адгезия от лат. *adhaesio* – прилипание, сцепление, притяжение, это связь между различными конденсированными телами при их молекулярном контакте). Такими свойствами обладают соединения щелочных металлов натрия и калия, относящиеся к элементам первой группы периодической системы, обладающие значительно большей активностью.

Известны многочисленные рекомендации по добавлению солей щелочных металлов в портландцемент в целях интенсификации процесса твердения.

Идея создания щелочных и смешанных щелочно-щелочноземельных гидравлических вяжущих и связок, дающих возможность использовать дисперсные вещества в производстве строительных бетонов и керамики, родилась в Киевском инженерно-строительном институте (в настоящее время – Киевский национальный университет строительства и архитектуры) и принадлежит профессору Глуховскому В.Д (см. Приложение 1).

Шлакощелочные вяжущие (ШЩВ) позволяют утилизировать большое количество промышленных отходов. Ежегодно в отвалы предприятий поступают около 70 млн. т доменных шлаков, 20 млн. т шлаков цветных металлов, 60 млн. т угольных зол и шлаков 30 млн. т кварцевых постов. В отвалах медного никелевого, алюминиевого и фосфорного производств накоплено, в общей сложности, свыше 250 млн. т. При этом, на содержание отвалов и решения вопросов экологии расходуется до 10% от производства основного продукта.

ШЩВ состоят из тонкомолотых шлаков (удельная поверхность от 3000см²/г), представляющих собой попутные продукты промышленности, а также природных вулканических шлаковых пород (исследования 1989-1995 г.г. Задача Ф.Д. по программам Минобороны РФ местных материалов Камчатки и Курильских островов) и щелочных компонентов, являющихся также попутными продуктами химической и ряда других видов промышленности.

Академик П.А. Ребиндер, в свое время, не оправдывал взрывы скал с последующим их дроблением и склеиванием щебня и песка. Он полагал, что необходимо использовать то, что раздроблено уже самой природой и находится вокруг нас.

В качестве заполнителей, кроме традиционных щебня и песка, могут быть использованы некондиционные материалы – местные дисперсные грунты или некоторые дисперсные промышленные отходы.

**Термины и определения, включенные в теоретическую часть пособия
по ГОСТ 30515-97, ГОСТ 31108-2003, ОСТ67-11-84**

Таблица 1

Термин	Определение
1 Общие понятия	
Активность вяжущих	Фактическая прочность на сжатие образцов из стандартного цементного раствора, изготовленных и испытанных в стандартных условиях, установленных нормативным документом
Активность и основность шлака (Ma, Mo)	Характеристиками, которые определяют активность и гидравличность шлаков являются модуль основности - Mo и модуль активности -Ma
Бетонная смесь на всех видах вяжущих веществ	Однородная смесь цемента/молотого доменного шлака, кварцевого песка и не менее 2-х фракций крупного заполнителя и воды /раствора щелочи в любых соотношениях
Вяжущие вещества	Порошкообразные строительные вяжущие материалы, который обладают гидравлическими свойствами, в зависимости от вида состоят из клинкера и, при необходимости, гипса или его производных и добавок и двухкомпонентные вяжущие (молотый шлак и растворы щелочей)
Вещественный состав портландцемента	Содержание основных компонентов в цементе, выражаемое в процентах его массы
Вспомогательные компоненты цемента	Минеральные добавки, содержание которых в цементе не более 5% массы
Водоцементное отношение (сокращенно В/Ц)	Отношение массы воды затворения к массе цемента
Водопотребность цемента	Водоцементное/ (растворо-шлаковое) отношение, при котором достигается нормированная подвижность стандартного цементного раствора
Геополимерный бетон	Искусственный камень, созданный из измельченной и специально подготовленной смеси горной породы (щебень-песок) и вяжущего компонента
Гидравлические свойства вяжущих	Способность тонкоизмельченного материала (клинкер /шлак), затворенного водой (растворами щелочи), после предварительного твердения на воздухе или без него продолжать твердеть в воде и на воздухе

Термин	Определение
Гидратация вяжущего	Химическое взаимодействие цемента с водой /(шлака с растворами щелочи) с образованием кристаллогидратов и других новообразований
Гидрофобизация вяжущего	Повышение устойчивости цемента к воздействию влаги воздуха путем введения специальных добавок, гидрофобизирующих поверхность зерен цемента
Глиноземистый (высокоглиноземистый) цемент	Цемент, полученный на основе глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера
Затворение цемента или шлака	Смешивание цемента с водой /шлака с щелочными растворами
Класс прочности вяжущего	Условное обозначение одного из значений параметрического ряда по прочности в максимальные сроки, установленные нормативным документом
Ложное схватывание цемента	Преждевременная частичная или полная потеря подвижности цементным тестом, устраняемая с помощью механического воздействия
Нормальная густота цементного теста	Водоцементное /(растворо-шлаковое) отношение в процентах, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста
Основные компоненты цемента	Клинкер, гипс или его производные, а также минеральные добавки, содержание которых в цементе составляет свыше 5% массы
Пластификация вяжущего	Снижение водопотребности цемента путем введения специальных добавок
Портландцемент	Цемент, полученный на основе портландцементного клинкера
Пуццоланические свойства	Способность тонкоизмельченного материала в присутствии извести проявлять гидравлические свойства
Растворо-шлаковое отношение Мр/Мш	Отношение массы раствора щелочи к массе шлака
Сроки схватывания вяжущего	Время начала и конца схватывания цементного теста, определяемое в нормированных условиях
Специальный портландцемент	Цемент, к которому наряду с формированием прочности предъявляют специальные требования

Термин	Определение
Стандартный песок	Кварцевый природный песок с нормированным зерновым и химическим составом, предназначенный для испытаний всех видов цементов на определение его класса прочности
Стандартный раствор вяжущих	Однородная смесь цемента/ (молотого шлака), стандартного песка и воды/ (раствора щелочи) в нормированном соотношении
Сульфоалюминатный (ферритный) цемент	Цемент, полученный на основе сульфо-алюминатного (-ферритного) клинкера
Твердение цементного теста	Процесс формирования прочной структуры цементного камня
Тонкость помола цемента или шлака	Характеристика дисперсности цемента, которая может быть выражена массовой долей остатка (прохода) на одном или нескольких контрольных ситах или величиной удельной поверхности
Цементно-водное отношение (сокращенно Ц/В)	Величина, обратная водоцементному отношению
Цементное тесто / шлаковое тесто	Однородная пластичная смесь цемента с водой /шлака с щелочным раствором
Цементный (все виды) раствор	Однородная смесь цемента, /шлака кварцевого песка и воды /щелочного раствора в любых соотношениях
Цементный камень	Материал, образующийся в результате гидратации и твердения цемента
Шлакощелочной цемент (вяжущее)	Цемент получаемый как двухкомпонентный из тонкомолотого доменного (и других видов шлаков) с растворами едких щелочей
Шлаково-растворное отношение Мш/Мр	Величина обратная отношения массы раствора щелочи к массе шлака
2 Компоненты вещественного состава, вяжущего и их характеристики	
Активная минеральная добавка к цементу	Минеральная добавка к цементу, которая в тонкоизмельченном состоянии обладает гидравлическими или пуццоланическими свойствами
Геополимер	материал, который образуется химическим растворением и последующей реконденсацией различных алюмосиликатных оксидов и силикатов с образованием аморфной трехмерной каркасной структуры

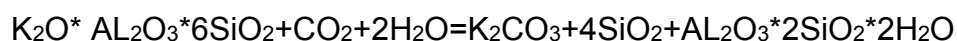
Термин	Определение
Гидравлическая добавка к цементу	Активная минеральная добавка к цементу, обладающая гидравлическими свойствами
Глиноземистый (высокоглиноземистый) клинкер	Клинкер, состоящий преимущественно из низкоосновных алюминатов кальция
Добавка-наполнитель к цементу	Минеральная добавка к цементу, которая в тонкоизмельченном состоянии является инертной или имеет слабые гидравлические или пуццоланические свойства
Клинкерный минерал	Искусственное соединение стехиометрического состава, представляющее собой кристаллохимическую основу клинкерных фаз
Клинкерная фаза	Составляющая часть клинкера в виде твердых растворов на основе клинкерных минералов, отдельных оксидов или стекла
Клинкер нормированного состава	Клинкер, к минералогическому составу которого установлены требования нормативным документом
Композиционная добавка к цементу	Добавка, состоящая из смеси двух и более
Минералогический состав клинкера	Содержание основных клинкерных минералов, определяемое расчетным путем на основе данных химического анализа
Минеральная добавка к цементу	Материал, вводимый в цемент с целью достижения определенных показателей качества и (или) экономии топливо-энергетических ресурсов
Портландцементный клинкер	Клинкер, состоящий преимущественно из высокоосновных силикатов кальция, а также алюминатов и алюмоферритов кальция
Пуццолановая добавка (Пуццолана)	Активная минеральная добавка к цементу, обладающая пуццоланическими свойствами
Специальная добавка к цементу	Добавка к цементу, вводимая для придания ему специальных свойств или регулирования отдельных показателей качества
Сульфоалюминатный (ферритный) клинкер	Клинкер, состоящий преимущественно из сульфоалюминатов (ферритов) кальция
Технологическая добавка к цементу	Добавка к цементу, вводимая для улучшения процесса помола и (или) для облегчения транспортировки цемента по трубопроводам

Термин	Определение
Шлаковый тонкомолотый компонент для ШЩВ	Основным компонентом для ШЩВ являются тонкомолотые доменные шлаки, являющиеся оксидами CaO SiO ₂ Al ₂ O ₃ MgO
Щелочные растворы для ШЩВ	ШЩВ - двухкомпонентное с водными растворами едких щелочей, не силикатных солей слабых кислот, силикатных солей, алюминатных солей
3 Свойства вяжущих	
Водоотделение вяжущего	Количество воды, отделившейся при расслоении цементного теста вследствие осаждения частиц цемента
Морозостойкость вяжущего	Способность цементного камня противостоять многократному попеременному замораживанию и оттаиванию
Равномерность изменения объема вяжущего	Свойство цемента в процессе твердения образовывать цементный камень, деформация которого не превышает значений, установленных нормативным документом
Расширение вяжущего	Увеличение линейных размеров цементного камня при твердении
Самонапряжение цемента	Способность цементного камня напрягать заложенную в него арматуру
Строительно-технические свойства вяжущего	Совокупность свойств цемента, характеризующих его способность образовывать в результате твердения прочный и долговечный цементный камень, а щелочи ШЩВ так же вступают в реакцию на атомном уровне с минералами песка, щебня создавая новую кристаллическую решетку
Тампонажно-технические свойства вяжущего	Совокупность свойств цемента, характеризующих его пригодность для тампонирувания скважин
Тепловыделение вяжущего	Количество теплоты, выделяемое при гидратации цемента
Усадка вяжущего	Уменьшение линейных размеров цементного камня при твердении

Раздел 1

Общие сведения о шлакощелочных вяжущих веществах

Известно, что на поверхности земли алюмосиликатные горные породы разрушаются, превращаясь в пески глины и другие рыхлые породы. Примером этого может служить реакция разрушения полевого шпата:



В следствие тектонических процессов, происходящих на земле, продукты разрушения погружаются в толщу земной коры, обогащаются щелочами и снова окаменевают. Следовательно, если провести аналогию с природными процессами, для получения искусственных каменных материалов к рыхлым грунтам необходимо добавить щелочи и соответствующим образом их обработать.

В следствие тектонических процессов, происходящих на земле, продукты разрушения погружаются в толщу земной коры, обогащаются щелочами и снова окаменевают. Следовательно, если провести аналогию с природными процессами, для получения искусственных каменных материалов к рыхлым грунтам необходимо добавить щелочи и соответствующим образом их обработать.



Рис.2. Образцы обычного и геопалимерного бетона

Необходимо в начале сказать о геопалимерах, - материале, который незаслуженно забыт, хотя СССР, а точнее УССР и город Киев является второй колыбелью уникального материала. Его характеристики и свойства и сегодня изучаются в научно-исследовательских учреждениях всего мира.

Появление геопалимера в современный период, связано с именем французского ученого Джозефа Давидовица. Он утверждал, что знаменитые Египетские пирамиды возведены именно из геопалимера. Тем не менее, многие ученые мира опровергают это утверждение. Вместе с тем, у французского ученого есть и продолжатели. Ученые шести европейских исследовательских институтов, своими исследованиями доказали, что материалом из которого сложена Боснийская пирамида Солнца, является высокопрочный геопалимерный материал. Материал (бетон) при испытаниях образцов, отобранных из тела пирамиды, показывает прочность от 73 - 134 МПа, а обычный бетон не более 60МПа.

Геопалимеры и их изготовление является одним из основных течений энергосберегающих инновационных технологий. Исторически известно, что французский химик Давидовиц в середине 1972 г. изобрел новый монолитный материал - геопалимер. Геопалимеры являются

новым материалом, который образуется химическим растворением и последующей реконденсацией различных алюмосиликатных оксидов и силикатов с образованием аморфной трехмерной каркасной структуры. Забытое изобретение средневековой алхимии - геополимерный бетон, из которых сооружены египетские пирамиды, храмы и статуи. Давидович доказал, что не только пирамида Хеопса, но и многие другие каменные монументы и изделия «древнего» Египта, например, саркофаги, статуи, амфоры и другие, были сделаны, на самом деле, из особого бетона. Впоследствии, способ его производства был забыт и лишь в современный период был открыт заново Д.Давидовичем. В настоящее время этот бетон успешно используется европейскими и американскими производителями по патентам Д.Давидовича. Джозеф (Иосиф) Давидович является известным ученым химиком, специалистом в области низкотемпературного синтеза минералов. В 1972 году он основал частную исследовательскую компанию CORDI во Франции, а в 1979 году - Институт геополимеров (Geopolymer Institute), тоже во Франции. Он основал новую отрасль прикладной химии, названную геополимеризацией. В результате геополимеризации создается бетон, практически неотличимый от некоторых натуральных каменных пород.

Не надо думать, что «древнеегипетский бетон» был обязательно похож на бетон современный, который мы привыкли видеть в современных постройках. Бетон - это искусственный камень, созданный из измельченной и специально подготовленной смеси горной породы (щебень-песок) и вяжущего компонента. Он может быть достаточно «мягким», как песчаник. Именно такой «мягкий» бетон применялся при строительстве пирамид. Бетон пирамид можно легко расковырять перочинным ножом. Но, оказывается, искусственный бетон может быть и гораздо тверже привычного нам бетона. Как обнаружил Д.Давидович, он может быть столь же твердым, как гранит или диорит. И при этом будет практически неотличим от них.

И.Давидович писал, что любая горная порода может быть в измельченном виде использована и, произведенный из нее геополимерный бетон, практически неотличим от естественного камня. Геологи, незнакомые с возможностями геополимеризации принимают геополимерный бетон за естественный камень. Для производства такого искусственного камня не требуется ни высоких давлений, ни высоких температур. Геополимерный бетон при комнатной температуре быстро садится и превращается в декоративный искусственный камень. Таким образом, по утверждению И.Давидовича, открытый им геополимерный бетон не требует для своего производства ни высокотемпературной обработки, ни современных технологий.

И.Давидовичу для открытия геополимерного бетона нужны были лишь многолетние наблюдения и опыты. Это открытие вполне могло быть сделано в рамках средневековой алхимии. Недаром И.Давидович одну из своих книг так и назвал: «Алхимия и пирамиды». Хотя сам И.Давидович пользовался скалигеровской хронологией и предпочитал думать, будто это была «алхимия каменного века», полностью затем забытая, якобы уже несколько тысяч лет тому назад. Однако, согласно новой хронологии, картина получается более естественной и понятной. Геополимерный бетон пирамид и статуй Египта действительно был открыт алхимиками, однако не «древнейшими», а средневековыми.

К числу таких утраченных секретов, как теперь выясняется, принадлежал полимерный бетон. Почему этот бетон использовался, в первую очередь, именно в Египте, в Африке и Малой Азии? Как обнаружил И.Давидович, важным составным компонентом подобного бетона был ил из реки Нил, содержащий окись алюминия. В египетских пустынях и соленых озерах в больших количествах доступен углекислый натрий. Для производства геополимерного бетона нужны и другие компоненты, также имеющиеся в Египте.

Открытие И.Давидовича позволяет разгадать многочисленные загадки «древнеегипетских» каменных изделий. Оказалось, что загадки возникли из-за непонимания того, что в большом количестве случаев, это был искусственный камень - геополимерный бетон. Из него создавались статуи, загадочные «древнеегипетские» сосуды-амфоры, а также блоки пирамид. Естественно, в каждом случае строители подбирали специальный искусственный камень, в одних случаях делая искусственный известняк, в других - искусственный гранит.

В настоящее время обнаружено прямое доказательство того, что многие «древнеегипетские» статуи действительно были изготовлены из искусственного камня, который сначала был мягким, а затем, после застывания, превращался в исключительно твердый камень, почти неотличимый от натурального.

Открытие И.Давидовича объясняет также и следующую загадку «древнеегипетского» строительства. В пирамиде Хеопса стоит большой гранитный саркофаг, который по своим размерам не мог пройти сквозь более узкие ходы и двери, ведущие в помещение, где стоит саркофаг. Историки придумывают на этот счет разные «теории».

И.Давидович дает совершенно четкий и простой ответ: Большой саркофаг, как и другие саркофаги Долины Царей, был отлит на месте из геополимерного бетона. Никуда его не тащили. И.Давидович приводит, также, много других серьезных доводов, доказывающих искусственное происхождение камня, из которого изготовлены пирамиды и многие статуи древнего Египта.

Идея создания щелочных и смешанных щелочно-щелочноземельных гидравлических вяжущих и связок, дающих возможность использовать дисперсные вещества в производстве строительных бетонов и керамики, родилась в СССР, точнее - в УССР, в 1956 г. в Киевском инженерно-строительном институте (в настоящее время – Киевский национальный университет строительства и архитектуры) и принадлежит профессору Глуховскому В.Д. Одновременно Глуховский В.Д., совместно с доктором технических наук Кривенко В.П. исследовали шлакощелочные цементы. В результате было доказано, что ШЩВ повышают прочность бетона, его паро- и водонепроницаемость, жаростойкость и морозостойкость, устойчивость бетона к агрессивной среде. По разработке киевских ученых процесс производства ШЩВ практически ничем не отличался от приготовления обычного бетона на основе портландцемента, с той только разницей, что вместо воды, применяли растворы щелочных компонентов. Вердикт ученые вынесли такой: свойства шлако-щелочных цементов дают возможность считать их высокоэффективными и прогрессивными материалами будущего.

С применением шлако-щелочных цементов на то время было построено много промышленных и сельскохозяйственных объектов на Украине. После двадцатилетней эксплуатации построенные здания были повторно исследованы и результаты были весьма неожиданными - прочность не только не снизилась, она возросла 1.5-2.0 раза.

Использование молотого доменного шлака в смеси с растворимым жидким стеклом позволило в 1939 году А.И. Жилину впервые получить водостойкие материалы типа бетона. В 1959 году В. Константинов и Т. Пужанов - исследовали твердение шлакового теста, полученного путем затворения молотого гранулированного шлака жидким стеклом, твердеющим, в основном, в сухих условиях и при небольшой влажности.

Расход активизатора жидкого стекла не велик и в зависимости от прочности получаемого материала колеблется от 2 до 8%. Однако, получение водо-воздухостойких материалов на основе гранулированного шлака и растворимого стекла не привело к их применению в строительстве, так как предпочтение отдается гидравлическим вяжущим веществам, способным твердеть не только в условиях, исключающих контакт с водой, но и в воде.

Исследования профессора В.Д. Глуховского, начиная с 1956г., показали, что шлакощелочные композиции соединений щелочных металлов являются самостоятельными компонентами в продуктах их гидратации и твердения.

Значительное содержание щелочных компонентов в ШЩВ исключает дополнительное введение в их состав кальциевых соединений, определяет их высокую активность и другие свойства, выгодно отличающие ШЩВ и бетоны на их основе от традиционных. В их состав и в состав бетонов не входит портландцемент, поскольку его введение может привести к снижению прочности.

В дальнейшем эти исследования, выполненные под руководством

В.Д. Глуховского, были расширены его учениками, учеными КИСИ, в том числе, и автором пособия, в Военном инженерном техническом университете (ВИТУ, ранее ЛВВИСКУ, ВИСИ, в настоящее время ВАМТО). В 1989-95 г.г., по программе, Министерства Обороны РФ, автором пособия исследовались отходы промышленности Северо-Запада России и местные вулканические породы Дальневосточного региона (Камчатки, Курильских островов - Итуруп, Кунашир).

Применение ШЩВ позволяет использовать более дисперсные заполнители, с содержанием глинистых и пылевидных примесей, превышающих их допустимые значения в цементных бетонах, а также, позволяет применить многие рыхлые попутные продукты промышленности. Таким образом, ШЩВ и шлакощелочные бетоны (ШЩБ) позволяют расширить сырьевую базу для получения основного строительного материала – бетона с улучшенными свойствами.

Раздел 2

Сведения о сырьевой базе для производства шлакощелочных вяжущих веществ

Для простоты изучения материала о ШЩВ в пособии приводятся сведения о его сырье, принципы технологии получения вяжущего, методика подбора состава и составы ШЩБ, марки ШЩВ, классы ШЩБ, их физико-механические характеристики, области применения.

Для производства вяжущих веществ в промышленности стройматериалов используют природные ископаемые. Однако, их сырьевая база, особенно в районах приближения к заводам-производителям, так как развитие строительного комплекса РФ с каждым годом уменьшается, а в ряде регионов практически иссякает.

Прежде чем говорить о материалах, используемых для изготовления ШЩВ, необходимо дать определению ШЩВ или цемента. ШЩВ представляют собой гидравлические вяжущие вещества, получаемые посредством тонкомолотого измельчения гранулированного шлака совместно с малогидроскопичным щелочным компонентом или путем затворения молотого шлака растворами щелочных металлов: натрия, лития или калия.

Для производства ШЩВ (цемента) используют шлаки доменного производства, сталеплавильные шлаки, получаемые при выплавке цветных металлов, таких как: свинцовые, никелевые, медные, а также электро-термофосфорные. Как правило, в первоначальном виде они представляют собой гранулированные окатыши, отвечающие требованиям ГОСТ 3476-2019, а также, согласно исследованиям сырьевых ресурсов Камчатки и Курил, выполненных автором пособия, кроме того возможно применение вулканических шлаковых пород. Согласно выполненным исследованиям и практическим их внедрениям, наиболее пригодными для производства ШЩВ являются доменные гранулированные шлаки.

Многолетние исследования сырьевой базы показали, что химический и минералогический состав шлаков изменяется в широких пределах, а значит требует проведения его строго контроля. В составе различных шлаков, при их исследованиях

В.В. Лапиным и другими учеными, обнаружены свыше 100 минералов и лишь только 40 из них присутствуют постоянно.

Нестабильность химического состава - один из недостатков, осложняющий расширение сырьевой базы ШЩВ.

Главными оксидами доменных шлаков являются: CaO SiO_2 Al_2O_3 MgO , входящих в большинство минеральных вяжущих, в частности, традиционного портландцемента. В то же время, соотношения их в шлаках и портландцементе различно. Минералогический состав металлургических шлаков характеризуется наличием соединений с более низкой основностью, чем минералы портландцементного клинкера. Соотношение различных минералов определяется не только химическим составом, но и условиями их охлаждения. В шлаках содержатся как минералы в виде кристаллов, так и в виде стекловидной фазы. Принято вяжущие свойства шлаковых дисперсий связывать с содержанием стеклофазы в шлаке. Шлаки, содержащие низкоосновные алюминаты кальция, в закристаллизованном виде более активны, чем остеклованные шлаки. Есть показатели, которые определяют активность и гидравличность шлаков. К ним относятся:

модуль основности $M_o = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$, в зависимости от численного значения которого, шлаки подразделяются на основные ($M_o > 1$) и кислые ($M_o < 1$);

Модуль активности $M_a = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$.

Гидравлическая активность доменных шлаков в большинстве случаев с увеличением модуля основности и особенно модуля активности возрастает.

В своих работах П.П. Будников предлагает характеризовать активность шлаков коэффициентом качества:

$$K = \text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{MnO}$$

Шлаки, имеющие $K > 1,9$ отличаются повышенной активностью, при $K = 1,6 - 1,9$ имеют среднюю активность, а при $K < 1,6$ они малоактивны. В шлаках с $M_o = 1$ содержится примерно 50-70% стекла, высокоосновные шлаки с $M_o > 1,3$, вообще нельзя получить в стекловидном состоянии.

В кислых шлаках со значительным количеством глинозема, имеющих высокую активность расплава, даже при медленном охлаждении, образуется, главным образом, стекловидная структура.

Второй составляющей ШЩВ являются щелочные компоненты, которые вводятся в них в количестве 5-15% от массы шлака в пересчете на сухое вещество, при этом получают водные растворы 18-40% концентрации. Все щелочные компоненты по характеру взаимодействия со шлаками подразделяются на четыре группы:

- 1) едкие щелочи (едкий натр, едкое кали, смесь плавленных щелочей);
- 2) не силикатные соли слабых кислот (сода кальцинированная, содощелочной плав, поташ, фтористый натрий);
- 3) силикатные соли и растворимые стекла с силикатным модулем 0,5-2,5, в том числе метадисиликаты натрия и калия;
- 4) алюминатные соли – алюминаты натрия и калия.

Для основных шлаков ($M_o > 1$), независимо от условий твердения, могут применяться щелочные компоненты любой группы. Для нейтральных и кислых шлаков ($M_o < 1$) - щелочные ком-

поненты 2-й группы, которые эффективны лишь в условиях тепловлажностной обработки, а компоненты 3-й и 1-й групп - могут применяться и при естественном твердении.

При тонкости помола шлака с удельной поверхностью 3000 см²/г оптимальное содержание щелочных компонентов составляет обычно 5% от массы шлака. Плотность щелочных растворов 1-ой и 2-ой групп составляет 1,15-1,20 г/см³, а 3-ей группы составляет - 1,3 г/см³.

Наиболее перспективными по экономическим показателям компонентами для производства ШЩВ, следует считать не чистые химические продукты, а попутные продукты ряда производств, содержащие необходимые соединения натрия и калия. К ним относятся: содопоташная смесь, содощелочной плав и другие.

Раздел 3 Основные свойства шлакощелочных вяжущих

В зависимости от состава алюмосиликатной составляющей ШЩВ бывают следующих разновидностей: бездобавочный цемент, цемент с добавками эффузионной или интрузивной горной породы, глинистых минералов, горелых пород, щелочей и кремне-содержащих веществ, карбонатов и др. Неэффективное введение в ШЩВ портландцемента, отрицательное действие которого объясняется присутствующим в нем гипсом, который в свою очередь, очень быстро нейтрализует щелочной компонент. Небольшие добавки безгипсовых цементов позволяет на шлаках разной основности получить равные прочностные характеристики.

Обычно доля портландцемента колеблется в пределах 2-7 % от массы шлака. Согласно ранее разработанных РСН 336-90 «Шлакощелочные вяжущие» (Украина) существуют следующие виды ШЩВ (См. таблицу 2).

Основные виды шлакощелочных вяжущих

Таблица 2

Обозначение ШЩВ	Массовая доля портландцемент. клинкера без гипса в %	Наименование шлака и его основность
ШЩВ0	-	Доменный $M_o > 0,6$
ШЩВ2	2+/-1	Доменный $M_o > 1,05$
ШЩВ4	4+/-1	Доменный $M_o < 0,95$
ШЩВ6	6+/-2	Доменный $0,95 < M_o < 1,05$
ШЩВТ5	5+/-2	Электротермофосфорный
ШЩВС0	-	Свинцовый
ШЩВН0	-	Никелевый
ШЩВН7	7+/-2	Никелевый
ШЩВМ0	-	Медный
ШЩВМ5	5+/-2	Медный

Основные марки ШЩВ в зависимости от щелочного компонента приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Основные марки ШЩВ

Марка ШЩВ				
ШЩВ0	ШЩВ2	ШЩВ4	ШЩВ6	ШЩВТ5
1	2	3	4	5
		Сода кальцинированная		
300	300	300	300	300
400	400	400	-	400
-	500	500	500	-
		Плав соды кальцинированной		
300	300	300	300	300
400	400	400	-	400
500	500	500	500	500
-	-	-	600	-
		Метасиликат натрия Mс*=1		
300	-	300	300	300
400	400	-	-	300
500	500	500	500	500
500	-	-	-	-
-	700	-	700	700
		800		
900	1000	-	1100	-
1200		1200	-	

1	2	3	4	5
		Дисиликат натрия Мс=2		
300	300	-	300	300
400	-	400	400	-
500	500	500	500	500
600	-	-	-	-
700	700	700	700	700
800		800	800	
900	900	900	-	900
-	1000	-	-	1000

*Мс-силикатный модуль.

Таким образом, из таблицы видно, что марки ШЩВ по прочности значительно выше, чем у портландцементов (М 300-600 или по новой квалификации классов прочности 22,5-52,5), и изменяются в значительно большем диапазоне: от М 300 до 1200 и классов 22,5-120. Требования к прочности ШЩВ представлены в Таблице 4.

Марки ШЩВ по прочности

Таблица 4

Марка вяжущего вещества	Предел прочности после 28 суток нормального твердения, МПа не менее	
	при изгибе	при сжатии
1	2	3
300	4,5	30
400	5,5	40
500	6,0	50
1	2	3
600	6,5	60
700	7,0	70
800	7,5	80
900	8,0	90
1000	8,5	100
1100	9,0	110
1200	9,5	120

Начальное растворошлаковое отношение (р/ш) принимают равным:

- для мета-и дисиликата натрия - 0,32;
- содощелочного плава - 0,34;
- для растворимого силиката натрия - 0,36.

Консистенция раствора определяется прибором вискозиметр Сутторда -ВС-1М путем вибрирования его на стандартной лабораторной виброплощадке в течение 20 секунд до получения расплыва смеси диаметром 170+/-5мм. Изготовление образцов – балочек, их хранение и испытания, выполняют по ГОСТ 3104-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии».

Начало схватывания ШЩВ обычно составляет от 30 минут до 1 часа, конец от 2-х до 6 часов.

Сроки схватывания могут регулироваться в зависимости от применяемого щелочного компонента, концентрации раствора, тонкости помола шлака и его основности. При множестве исследований выявлено, что при избыточной массе щелочного компонента, он, не вступая в реакцию со шлаком, выступает на поверхности тела образцов балочек в виде белесого «мха».

Прочность ШЩВ интенсивно нарастает в первые семь суток как для обычного портландцемента; после 28 суток нарастание прочности проходит также интенсивно и через три месяца может составить около 1,5 марочной. Тепловлажностное выдерживание образцов в лабораторной пропарочной камере при условиях $W=95-100\%$. $T=95-100^{\circ}\text{C}$ ускоряет процесс твердения ШЩВ более интенсивно, чем при твердении портландцементов. Так, при пропаривании железобетонных изделий по условиям заводской технологии достигается не 70%, а 90-120% от марочной прочности, что позволяет значительно сократить время тепловлажностной обработки. Молотые шлаки, мало склонные к самостоятельному твердению, могут длительно храниться без потери активности. Лишь высокоосновные шлаки теряют некоторую активность, особенно при условии тонкого помола, но в значительно меньшей степени, чем портландцементы и особенно высокопрочные цементы.

Величина контракции ШЩВ в 4-5 раз меньше, чем у традиционного портландцемента. Несмотря на интенсивный рост прочности в ранние сроки твердения ШЩВ, его экзотермия (тепловедение) ниже в 1,5-2,5 раза чем портландцементов.

Отличием ШЩВ от всех прочих минеральных вяжущих является то, что оно затворяется водными растворами щелочей, которые одновременно являются противоморозной добавкой, но способствует активному твердению при отрицательных температурах.

Процесс твердения и структурообразования ШЩВ носит очень сложный характер и условно может быть разделен в весьма упрощенном и схематичном виде на 3 этапа.

I этап. На нем происходит растворение стеклофазы шлака под воздействием щелочи с образованием дополнительных порций щелочи в результате катионного обмена щелочных солей с гидроксидом кальция и с образованием щелочных гидросиликатов.

II этап. На нем происходит возникновение коагуляционной структуры, переходящей в коагуляционно-кристаллизационную структуру, при течении следующих процессов:

- взаимодействие щелочных гидросиликатов с оксидом кальция, содержащимся в стеклофазе шлака, с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция и выделением щелочи;
- дальнейшее взаимодействие щелочи со шлаковым стеклом, в том числе, с более устойчивой алюмосиликатной составляющей и с образованием гидроалюмосиликатов.

III этап. При нем происходит переход коагуляционно-кристаллической структуры в кристаллизационную с образованием конгломератной структуры шлакового камня, содержащей,

наряду с гелем низкоосновные гидросиликаты кальция, кальцита, гидрокарбосиликата, смешанные гидросиликаты и алюмосиликаты, щелочные гидроалюмосиликаты.

Структура затвердевшего ШЩВ может быть представлена в виде конгломерата, состоящего из зерен непрореагировавшего шлака, преимущественно кристаллической структуры, сцементированной гелевидной массой, которая, в свою очередь, пронизана кристаллическими сростками гидратных новообразований.

При этом, портландцементы как гель образуют только цементный камень с тонкой пленкой, которые только поверхностно склеивают мелкий и крупный заполнитель, не вступая в реакцию с его минералами. Растворимость низкоосновных гидросиликатов кальция находится в пределах 0,035-0,050 г/л, а щелочных алюмосиликатов еще ниже.

Следовательно, возникающие новообразования являются более стойкими, чем высокоосновные новообразования портландцемента, растворимость которых находится в пределах 0,5-1,3 г/л. Таким образом, низкая растворимость новообразований, отсутствие свободного гидроксида кальция, стабильность структуры во времени являются решающими факторами, которые обеспечивают высокую стойкость в агрессивных средах, и в целом, долговечность щелочного камня.

Благотворное влияние на твердение ШЩВ оказывают добавка глины, эффузивных пород, природных гидрослюд и также некоторые другие добавки. Эти добавки в количестве 15-20% дополнительно связывают щелочной компонент и тем самым, в целом, повышают прочность шлакощелочного камня.

В процессе выполнения экспериментов при подборе состава растворов и бетонов на ШЩВ и при их испытаниях доказано, что применение некондиционных для портландцементов инертных компонентов (песок, щебень) влияло на их прочность незначительно. В большинстве случаев приведенные компоненты, способствуя уплотнению материала, влияют на повышение прочности портландцементов.

Итак, установлено, что для приготовления шлакощелочных бетонов (ШЩБ) можно применять заполнители с высоким содержанием пылевидных и глинистых веществ, использовать некондиционные заполнители, как природные, непригодные для цементных бетонов и растворов (мелкие пески, супеси, лессы, гравийно-песчаные смеси и другие), так и использовать попутные отходы различных отраслей промышленности.

В совокупности вышеуказанные технологические приемы, позволяют существенным образом расширить сырьевую базу для приготовления шлакощелочных бетонов.

Раздел 4

Виды бетонов на основе шлакощелочных вяжущих и их основные свойства

За период исследований и производственного использования шлакощелочных бетонов (ШЩБ) установлено следующее примерное содержание по массе отдельных компонентов в его составе:

молотый шлак 15-30% или 300-600 кг на 1 м³ бетонной смеси;

заполнители 70-85% или 1500-2000 кг на 1 м³ бетонной смеси;

щелочной компонент 0,5-1,5% или 10-40кг на 1 м³, при оптимальной плотности водных растворов для щелочных компонентов I и III групп 1,15-1,20, а II группы 1,3г/см³ при приготовлении вяжущих и бетонов.

Технологические свойства:

Водопоглощаемость бетонных смесей зависит от дисперсности заполнителя, тонкости помола шлака, соотношения компонентов, а также других факторов.

Удобоукладываемость (жесткость и подвижность) ШЩБ определяется по ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные Технические условия». Формовочные свойства бетонных смесей на основе ШЩБ, как показала практика, высоки, подвижны с маркой П1, но в основном они для тяжелых, прочных бетонов – жесткие с маркой Ж1-2.

Физико-механические свойства:

плотность обычных (тяжелых) ШЩБ находится в пределах:1900-2300, у наиболее плотных 2400-2700 кг/м³.

Предел прочности при сжатии бетонов (R_b) естественного твердения находится в пределах 10-60 МПа, пропаренных бетонов 20-120 МПа, а после автоклавного твердения 30-150 МПа, а при технологии с вибротромбованием бетонных смесей прочность достигает 180-200 МПа.

Предел прочности ШЩБ при растяжении 1/10-1/15 R_b, а при изгибе 1/7-1/10R_b.

Поры в структуре ШЩБ, как правило, замкнутые имеют округлую форму. Такая структура предопределяет низкий коэффициент фильтрации, высокую водонепроницаемость W6-30 и морозостойкость F200 -1000.

Помимо обычных (тяжелых) на ШЩБ готовят облегченные и легкие бетоны, в том числе ячеистые ШЩБ.

Легкие ШЩБ получают путем замены некоторой части заполнителя легкими пористыми материалами (керамзитовый песок, гравий, аглопорит, вспученный перлит, вермикулит, а также пористые природные вулканические породы, немолотого гранулированного шлака). Такие бетоны при плотности 1300-1900 кг/м³, обладают прочностью 4-50 МПа. Технология производства ячеистых ШЩБ принципиально не отличается от обычной технологии пено-газобетонов.

Тесто ШЩБ готовится на шлаках с повышенной тонкостью помола 3500-4000 см²/ г, а в качестве пенообразователей – те же вещества, что и для цементного пенобетона, особенно целесообразно применение канифоли с жидким стеклом, так как последнее одновременно выполняет роль вяжущего и пенообразователя.

Хорошим газообразователем в шлакощелочных газобетонах служит алюминиевая пудра. Однако, при расходах, рекомендуемых для цементных газобетонов происходит обильное газовыделение, начиная с затворения. Поэтому расход алюминиевой пудры целесообразно уменьшать в 5-10 раз, т.е 0,02-0,03 % от массы вяжущего, и при этом без подогрева воды для раствора. Ячеистые ШЩБ при естественном твердении, как правило обладают невысокой механической прочностью и применяют для изготовления теплоизоляционных материалов с прочностью 2,5-4МПа и плотностью 500-600 кг/см³. Пропаренные и особенно подвергнутые автоклавной обработке

($P=1,5-12$ атм $T= 170-200$ °С), по прочности 5-10МПа, при плотности 800-1000 кг/см³ бетоны позволяют получать и конструкционно-теплоизоляционные материалы.

Коэффициент теплопроводности находится в прямой зависимости от плотности бетона и составляет 0,12-0,20 ккал/м/час/град.

ШЩБ обладают жаростойкими свойствами и способны выдерживать температуру до 1000°С, при этом их прочность даже повышается из-за расплавления щелочных добавок и спекания компонентов бетона.

Бетоны на основе ШЩВ обладают повышенной коррозионной стойкостью, т.к. в продуктах их твердения отсутствуют высокоосновные гидроалюминаты кальция, которые служат причиной сульфатной коррозии цементов, в них также отсутствует свободная известь. В следствии чего ШЩБ обладают стойкостью в водах с низкой гидрокарбонатной жесткостью, минерализованных сульфатных, магниевых водах, морской воде и этим превосходят обычные цементные Бетоны на ШЩВ стойки при действии бензина, нефтепродуктов, растворов сахара, а также слабых растворов органических кислот. В составе ШЩБ содержится определенное равновесное количество щелочи, которое наряду с высокой его плотностью обеспечивает надежную сохранность стальной арматуры.

Автором пособия, в процессе работы по программе специальных исследований Минобороны РФ и над материалами диссертационной работы на специальную тему, были определены защитные свойства ШЩБ. Эти свойства, особенно у высокопрочных В50-В60, имеют значения динамической прочности и коэффициенты динамического упрочнения выше, чем у бетонов на портландцементе (см. Таблицу 5).

Динамическая прочность и коэффициент динамического упрочнения у бетонов и портландцементов

Таблица 5

Класс бетона по прочности на сжатие, В	Заряд взрывчатого вещества, г	Предел прочности на сжатие, Rb, МПа	Динамическая прочность Rbd, МПа	Коэффициент динамического упрочнения, Kds
1	2	3	4	5
		Бетон на портландцементе		
В25	51	32	67,2	2,1
В40	95	52	106,6	2,05
В60	130	78	126	1,61
		ШЩБ		
В25	63	33	80	2,42
В40	101	40	112	2,8
В50	120	65	130	2,0
В60	140	79	166	2,1

Таким образом, как видно из материалов, приведенных выше в пособии, конструкции из ШЩБ обладают специальными свойствами, более высокой надежностью и долговечностью, по сравнению с конструкциями на обычных портландцементе.

Примерные составы ШЩБ и их физико-механические характеристики приведены в Разделе 5 (Таблица 6).

Раздел 5

Метод подбора начального состава шлакощелочного бетона по межзерновой пустотности смеси заполнителей

При выполнении научной работы на соискание степени кандидата технических наук на специальную тему в 1990-1995 годах на базе кафедры №12 (Строительные материалы) ВИТУ МО РФ автором пособия при разработке метода подбора составов смесей ШЩБ были проанализированы методы расчетов и составы, выполненные различными методами многими учеными и исследователями. Значительный интерес представляют предложения профессора Баженова П.И. об учете при расчете начального состава цементного тяжелого бетона межзерновой пустотности смеси заполнителей, определенной в уплотненном состоянии. Несмотря на очевидное разнообразие теоретических концепций и форм выражения зависимости свойств бетона от основных факторов состава, все они имеют общие принципы, хорошо проверенные на практике. К ним относятся: равенство абсолютного объема свежееуложенного бетона сумме абсолютных объемов его компонентов, максимального снижения расхода связующего, за счет уменьшения пустотности смеси заполнителей, обеспечение необходимой удобоукладываемости бетонной смеси и максимальной прочности бетона путем оптимизации главных факторов состава.

При разработке нового метода расчета начального состава тяжелого ШЩБ автором пособия, в диссертационной работе, за основу была взята методика расчета начального состава цементного тяжелого бетона по межзерновой пустотности смеси заполнителей ранее предложенная его учителями, а в дальнейшем коллегами доцентами Кузьминым В.И. и Тихомировым А.П.

Их метод продолжает традиции ученых кафедры №12 ВИСИ (позднее ВИТУ) Минобороны РФ по совершенствованию технологии бетона, начатую профессором И.П. Александриним.

В основу оптимизации состава на уровне макроструктуры бетона автором пособия Задачным Ф.Д. в материалах своей диссертации на специальную тему (ВИСИ, СПб, 1995) была положена концепция равенства абсолютных объемов трехкомпонентной системы, которую можно описать уравнением $V_{ab} = V_{asl} + V_{ag} + V_{as}$ где V_{ab} , V_{asl} , V_{ag} , V_{as} – абсолютные объемы соответственно свежееуложенного ШЩБ, ШЩВ (теста), крупного и мелкого заполнителей.

Целью расчета является определение оптимального расхода компонентов на единицу готового объема бетона, т.е. $V_{ab} = 1000$ дм³.

Расчетная модель макроструктуры бетона формируется при соблюдении этого условия.

При этом для оптимизации по межзерновой пустотности выбрана модель структуры смеси заполнителей, когда песок занимает пустоты в крупном заполнителе, и они оба находятся в стандартно рыхлом состоянии, что соответствует оптимальному содержанию песка в смеси заполнителей, определяемому по формуле:

$n_{opt} = n_{sgpss} / (n_{sg} * p_{ss} + p_{sg})$. Аналитически такая модель может быть описана формулой:

$n_{sbl opt} = n_{ss} * n_{sg}$, где $n_{sbl opt}$, n_{ss} и n_{sg} межзерновая пустотность, соответственно смеси заполнителей, крупного и мелкого заполнителей (щебень, песок);

$n_{sbl opt}$ получаем из выражения $V_{pg} = V_{ss}$, где V_{pg} – объем пустот в щебне. Следует отметить, что эта модель соблюдается в бетоне только при оптимальном расходе песка M_{sopt} , который в любом известном составе бетона можно определить по формуле:

$M_{sopt} = M_{gobs} * n_{sgpss} / p_{sg}$, где M_{gobs} – фактический расход крупного заполнителя,

P_{ss} – насыпная плотность песка, p_{sg} – насыпная плотность крупного заполнителя.

Оптимизация шлакощелочного компонента на основе рационализации мезо- и микроструктуры бетона.

Шлакощелочной компонент (тесто) в ШЩБ целиком занимает пустоты в смеси заполнителей и смазывает зерна слоем оптимальной толщины, формирующим избыток теста по отношению к объему пустот, который определяется коэффициентом-1.

Экспериментально и аналитически были получены зависимости:

$l = f(\text{hgtgMalw/MaL} * \text{psl} * \text{palw} * \text{nsblopt} * \text{Cm})$, где Malw/Msl растворошлаковое отношение;

hg-подвижность бетонной смеси;

tg- жесткость бетонной смеси;

psl- и palw плотность, соответственно, шлака и щелочного раствора кг/дм³;

Cm –массовая концентрация щелочи в растворе.

Объем теста ШЩБ определяется из выражения: $V_{a.slt} = 1000 * l * \text{nsblopt}$. где

$n_{sg} = 1 - p_{sg}/p_{mg}$. $n_{ss} = 1 - p_{ss}/p_s$, где. n_{ss} n_{sg} - межзерновая\пустотность, соответственно, мелкого и крупного заполнителя;

p_{sg} , p_{ss} - насыпная плотность щебня и песка;

p_{mg} , p_s –средняя плотность -щебня, плотность песка.

Из условия прочности найдем растворошлаковое отношение:

$\text{Malw/Msl} = K_s * R_c / (R_{mu} + 0.8 K_s * R_c)$, где R_{mu} –средний уровень прочности, МПа

R_c –активность ШЩБ МПа;

K_s - коэффициент качества песка при модуле крупности $M_f = 0.7 - 1$ $K_s = 0.5$

при $M_f = 1.5 - 2$ $K_s = 0.6$, а при $M_f = 2.5 - 3$ $K_s = 0.7$

Исходя из принятой модели, расход шлака определяют по формуле:

$M_{sl} = V_{aslt} * \text{psl} / \{(\text{Malw/Msl}) * \text{psl} + 1\}$

Расход раствора щелочи, с концентрацией по массе Cm найдем из выражения:

$\text{Malw} = M_{sl}(\text{Malw/Msl})$, тогда расход сухой щелочи будет равен: $\text{Mal} = C_m * \text{Malw}$

Расход воды определяем из выражения: $M_w = \text{Malw} - \text{Mal}$

Принимая во внимание теоретическую концепцию структуры бетона, определяем абсолютный объем заполнителей:

$V_{abl} = 1000 - V_{aslt}$, отсюда найдем расход крупного заполнителя:

$M_g = V_{abl} * p_s * p_{sg} * p_{mg} / (p_s * p_{sg} + n_{sg} * p_{ss} * p_{mg})$.

После определяем оптимальный расход мелкого заполнителя – $M_{sopt} = \rho_{opt} * M_g$.

Расчетную среднюю плотность ШЩБ определяем по формуле:

$P_{mb} = M_{sl} + \text{Malw} + M_s + M_g$, где M_{sl} -расход шлака, кг/м³;

Malw -расход щелочного раствора, л/м³(кг/м³);

M_s - расход песка, кг/м³; M_g - расход крупного заполнителя, кг/м³.

Выразим состав ШЩБ в частях по массе:

$1 - M_s/M_{sl} - M_g/M_{sl}$, при растворошлаковом отношении Malw/Msl .

Состав ШЩБ в частях по объему выразим соотношением: $1 - V_s/V_{sl} - V_g/V_{sl}$

Коэффициент выхода бетона определим из выражения: $\beta = 1000 / (V_s + V_s + V_g)$

Примерные составы ШЩБ и их физико-механические характеристики смотри в таблице 6.

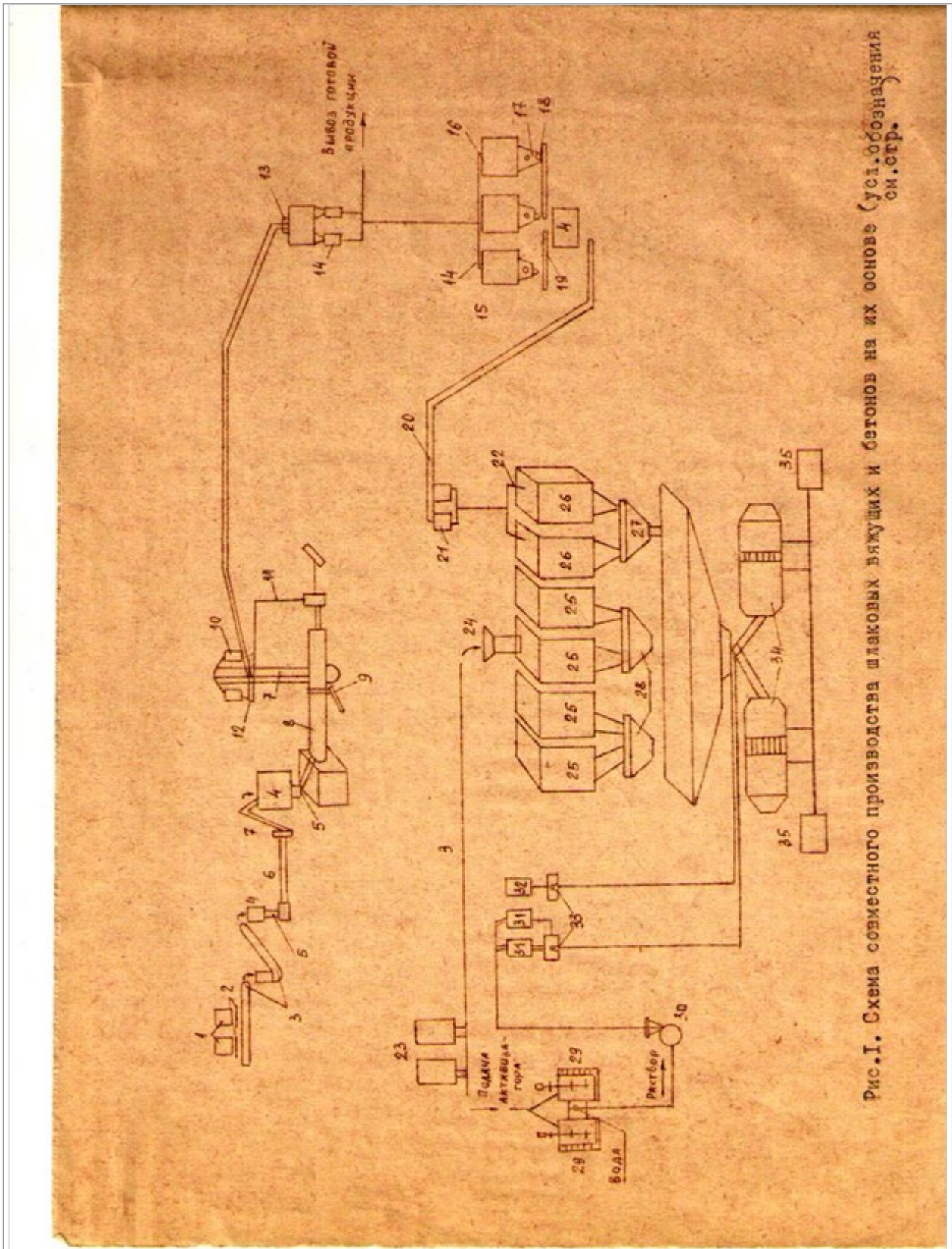
Таблица 6

№	Расход компонентов на 1 м ³ , кг					Прочность на сжатие, R _b , МПа		Морозостойкость, F _{цикл}	Услов тверд
	Malw	Msl	Ms	Mg	Malw/Msl	контр	после F _{цикл}		
1	164	400	600	1200	0.41	44.6	40,6	300	НТВУ
2	170	500	600	1200	0.38	50.6	41,6	400	НВТУ
3	170	400	600	1200	0,42	38,4	35	400	ТВО

Примечания: НВТУ –нормальные тепло влажностные условия с $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и $W = 95 - 100\%$

ТВО – твердение в пропарочной камере при $T = 95 - 100^\circ\text{C}$ и $W = 100\%$

Технологическая схема совместного производства ШЩВ и ШЩБ с бетонами на основе ПЦ в условиях типовых растворобетонных узлов (РБУ) приведена на Рис. 3



Условные обозначения к схеме совместного производства ШЩВ, ШЩБ
и бетонов на основе ПЦ к Рис.3:

1. Бункер шлака
 2. Питатель ленточный
 3. Ленточный транспортер
 4. Бункер
 5. Питатель тарельчатый, подвесной
 6. Сушильный барабан
 7. Элеватор наклонный
 8. Мельница трубная сепараторная
 9. Пневмотранспортный желоб
 10. Сепаратор
 11. Конвейер винтовой
 12. Желоб пневмотранспортный
 13. Расходомер с тканевой диафрагмой
 14. Двухходовой переключатель
 15. Силосы тонкомолотого шлака
 16. Силос портландцемента *
 17. Боковой разгрузатель
 18. Донный разгрузатель
 19. Аэрожелоб
 20. Циклон
 21. Фильтры
 22. Шнековый питатель
 23. Склад песка
 24. Загрузочная поворотная воронка
 25. Бункеры для щебня
 26. Бункеры цемента и шлака
 27. Дозатор шлака
 28. Дозатор заполнителей
 29. Мешалка концентрированных растворов (щелочей)
 30. Насос
 31. Бак для концентрированных растворов
 32. Бак для воды
 33. Дозатор хим. жидкостей
 34. Бетономешалка
 35. Раздаточный бункер
- Примечание: *- при изготовлении бетонных и растворных смесей на портландцементе

Раздел 6

Перспективы использования шлакощелочных вяжущих, растворов и бетонов на их основе в строительстве, в том числе, при реконструкции и реставрации объектов культурного наследия

Сложившееся политическое и экономическое положение в РФ в настоящее время требует стремительного развития промышленной базы производства строительных материалов и конструкций с применением ресурсосберегающих технологий. При строительстве зданий и сооружений, в том числе, высотных как для гражданских, так и для зданий Минобороны РФ, при капитальном ремонте и реконструкции зданий культурного наследия основным материалом являются бетоны, а значит широкое применение ШЩВ и ШЩБ расширит сырьевую базу производства строительных конструкций и материалов с широким применением некондиционных местных материалов и отходов промышленности.

По самым скромным подсчетам в стране не нашли рационального применения более 30 млн. т доменных, 20 млн. т сталеплавильных, 7 млн. электрофосфорных и более 10 млн. т отходов цветной металлургии на основе которых можно изготовить 70 млн. т высокомарочных ШЩВ, что эквивалентно 80-100 млн. т портландцемента.

В качестве соединений щелочных металлов, как компонента ШЩВ (щелочь+шлак) используют технические продукты: сода, поташ, фтористый натрий, растворимые щелочные силикаты, сырьем для производства которых могут служить сульфат натрия и хлористый натрий, запасы которых довольно велики, а также побочные продукты химического производства: плав щелочей, содощелочной плав, природная сода и т.д.

Кроме этого могут найти применение отходы, образующиеся при использовании в различных отраслях промышленности 10 млн т едкого натра и соды, которые не остаются в составе основного продукта, а выводятся из технологического процесса в виде отходов щелочных растворов различной концентрации, требующие организации их безопасного хранения.

Ранее еще в 90 годы, применение в промышленных масштабах ШЩВ и ШЩБ на их основе показало, что общая стоимость бетона может быть в 2-3 раза ниже стоимости исходного сырья для цементного бетона, а также таким образом будет улучшаться и экология регионов с залежами неиспользуемых отходов промышленности.

Проведенные ранее автором пособия исследования, полученные в результате опытные образцы материалов и изделий, позволяют рекомендовать ШЩВ для производства сухих смесей различного назначения и широкого спектра, отделочных плиточных материалов на основе отходов камнеобработки (мрамор, гранит, туф и др.). Размеры плиточных материалов могут быть 150*150, 200*200, 400*400, 500*500, 600*600 мм, которые могут широко применяться в отделке стен и полов, в том числе для устройства аналогов паркетным и мозаичным.

Учитывая физико-механические свойства ШЩВ, возможно получение на их основе плит для устройства полов и тротуаров при толщине 10-100 мм без их армирования.

Полученные материалы обладают улучшенной, по сравнению с аналогами (на портландцементе и керамических материалов), стойкостью к воздействию агрессивных сред.

Потеря массы при истирании у них составляла 0,05 г/см², что ниже чем у керамических.

Применение плит на основе ШЩВ, рационально при устройстве чистых полов в зданиях и сооружениях. Трудоемкость устройства плиточных полов, по сравнению с монолитными мозаичными в 2 раза меньше.

При рассмотрении материалов из множеств источников, особенно производственных предприятий стройиндустрии и при многолетних исследованиях свойств ШЩВ и ШЩБ автором пособия становится ясным, что их применение в растворах и бетонах не требует повышенных требований к качеству заполнителей и поверхностям оснований, что позволяет дать рекомендации к их широкому применению в том числе и при капитальном ремонте, реконструкции и реставрации на объектах культурного наследия.

Применение ШЩВ в строительных растворах весьма целесообразно при оштукатуривании фасадов объектов культурного наследия, находящихся в реконструкции и реставрации, ввиду их способности обеспечивать надежное сцепление с материалами ограждающих конструкций архитектурного объекта.

Заключение

В результате ознакомления с материалами данного пособия студенты получают знания о спектре сырьевых ресурсов для новых строительных материалов применяемых при производстве строительных материалов и конструкций в строительстве в том числе в области архитектурного материаловедения, с учетом их использования при реконструкции и реставрации объектов культурного наследия относящиеся к обще профессиональной компетенциям - ОПК. При этом они будут:

Знать - основные компоненты сырьевой базы для производства ШЩВ и ШЩБ, нормативные документы и требования к ним, методику расчета при подборе начального состава ШЩБ, физико-механические, технологические свойства строительных материалов на основе ШЩВ, области их применения включая и при выполнении работ на объектах культурного наследия.

Уметь - в реальной практической деятельности при выполнении авторского надзора на строящихся объектах выявлять отступления от проектных решений при выборе строительных материалов, рекомендуемых к применению в строительстве в том числе при реконструкции и реставрации объектов культурного наследия.

Владеть - навыками расчетов в области материаловедения - подбора состава ШЩБ, работы с нормативной, технической, технологической документацией, отражающей результаты верификации сырьевых ресурсов при производстве строительных материалов, цементов, растворов и бетонов для строительства зданий и сооружений, реконструкции объектов культурного наследия.

Вопросы для контроля освоения изученного материала:

1. Как назывался один из древнейших искусственных строительных материалов ?
2. Какое назначение вяжущего вещества при приготовлении растворов и бетонных смесей?
3. Какую смесь называют растворной, а какую бетонной?
4. Назовите разновидности цементов
5. Из каких 2-х компонентов состоит ШЩВ?
6. В чем заключается экологичность при производстве ШЩВ и бетонов?
7. В чем отличие контакта геля-клея ШЩВ с песком и щебнем в смесях от портландцементного?
8. По каким физико-механическим свойствам ШЩВ превосходят бетоны на ПЦ?
9. Возможно ли приготовление растворов и бетонных смесей на одном оборудовании в цеха РБУ?

Список использованной нормативной и библиографической литературы

Нормативная литература

1. ГОСТ8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород»
2. СП 70.13330.2012 актуализированная редакция (СНиП 3.03.01-87) «Несущие и ограждающие конструкции»
3. ГОСТ 30515-97 «Цементы. Общие технические условия»
4. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Общие положения»
Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003»
5. НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР «Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе»
6. ТУ ОСТ 67-10-84 Минтяжстрой СССР «Бетоны тяжелые шлакощелочные»
7. ГОСТ 310.2-76 «Цементы. Методы определения тонкости помола»
8. ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия»
9. ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные Методы испытаний»
10. ВСН 67-247-83 Минтяжстроя СССР «Технические указания по применению бетонов на шлакощелочном вяжущем в агрессивных минеральных средах»
11. ГОСТ 28013-98 «Растворы строительные. Общие технические условия»
12. СП 82-101-98 «Приготовление и применение растворов строительных»
13. ГОСТ 27006- 2019 «Бетоны. Правила подбора состава»
14. ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия»
15. ГОСТ 10180-90 «Бетоны Методы определения прочности по контрольным образцам»
16. ГОСТ 18105-2020 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности»
17. ГОСТ 3476-74 «Шлаки доменные и электротермофосфорные для производства цементов»
18. ТУ 67-629-84 Министерство строительства предприятий тяжелой промышленности СССР «Бетоны шлакощелочные. Жаростойкие»
19. ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения прочности при сжатии и изгибе».

20. ГОСТ 31108-2003 «Цементы Технические условия»
21. ТУ 65.484-84 Минтяжстроя СССР «Арболит на шлакощелочном вяжущем»
- 22.МО СССР «Рекомендации по изготовлению бетона на вулканических шлаках Камчатки и его применение в морском гидротехническом строительстве»
23. ГОСТ 13996-93 «Плитки керамические фасадные и ковры из них. «Технические условия»
24. ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обычного качества. Марки»
- 25.СН 277-80 «Инструкция по приготовлению изделий из ячеистого бетона»
- 26.ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования»
27. СанПин 2.6.1.2800-10 «Требования радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения» 28.ГОСТ 30629-99 «Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний»
28. ОСТ 67-11-84 «Вяжущее шлакощелочное. Технические условия»

Библиография

29. В.Д. Глуховский, А.Г. Алиев, А.А. Волянский, В.А. Пахомов ВП Кривенко и др. «Шлакощелочные вяжущие и мелкозернистые бетоны на их основе», Ташкент, «Узбекистан» 1980.
30. В.Д. Глуховский, В.А. Пахомов «Шлакощелочные цементы и бетоны» «Будивельник» Киев, 1978.
31. В.Д. Глуховский, П.В. Кравченко и др. «Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих» Киев «Будивельник», 1988.
32. Ф.Д. Задачин, А.П. Тихомиров «Шлакощелочные вяжущие вещества и бетоны на их основе» СПб, ВИСИ, 1994 .
33. Ф.Д. Задачин «Исследования возможности применения шлаковых отходов п/о «Ижорские заводы» для получения шлакощелочных вяжущих» Отчет НИР «4945-Л» инв. №543217 ВИСИ, СПб, 1993.
34. Ф.Д. Задачин В.И. Кузьмин «Исследования свойств бетонных смесей и бетонов на основе отходов промышленности Северо-Западного региона России» Отчет НИР «4945-Л» инв. №540475 ВИСИ, СПб, 1993.
35. Ф.Д. Задачин, А.П. Тихомиров «Приготовление растворов и бетонов с использованием местных пород» Военно-строительный бюллетень»№2 ,М,1989.
36. Ф.Д. Задачин А.П. Тихомиров «Вяжущие вещества из отходов сталеплавильного производства» «Строительные материалы»№2, М,1994 .
37. Ф.Д. Задачин «Неразрушающие методы определения основных физико-механических свойств бетона в условиях строительной площадки», СПб., Санкт-Петербургский государственный Институт живописи, скульптуры и архитектуры имени И.Е.Репина,2018.
38. Ф.Д. Задачин Диссертационная работа (специальная тема) на соискание степени кандидата технических наук ВИСИ, СПб,1995г.
39. В.И. Кузьмин, А.П. Тихомиров «Расчет состава бетона по межзерновой пустотности смеси заполнителей» ЛВВИСКУ, Л,1989 .

Приложение 1.

Краткая справка о научно-профессиональной деятельности профессора В.Д. Глуховского

Глуховский Виктор Дмитриевич, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники УССР и СССР, Заслуженный работник высшей школы УССР и СССР, руководитель проблемной научно-исследовательской лаборатории грунтосиликатов Киевского инженерно-строительного института (КИСИ), заведующий кафедрой технологии производства бетонных и железобетонных конструкций КИСИ. Автор более 200 рационализаторских предложений и патентов. Впервые еще в 1956 г. ученый получил патент за исследование и получение вяжущих затворением едкими щелочами измельченных горных пород и отходов производств, но самое главное, он открыл миру свежие взгляды на неорганические полимеры. Под его редакцией вышло более 300 печатных изданий, значительный ряд учебных пособий и монографий в области ресурсосберегающих технологий при получении щелочных алюмосиликатных строительных материалов. За годы научной работы воспитал множество кандидатов и докторов наук.

Научные исследования в области практики применения шлакощелочных бетонов Глуховский В.Д. осуществлял в лаборатории химкомбината в г. Северодонецке.

Знаменательно, что в апреле 2022 года, (в период написания данного пособия), согласно политического решения Президента Российской Федерации - Главнокомандующего вооруженными силами России, в результате спецоперации по освобождению Луганской народной республики Донбасса г.Северодонецк был освобожден от националистических сил ВСУ Украины.