

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

(наименование)

08.04.01 «Строительство»

(код и наименование направления подготовки)

Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: «Оптимизация состава бетонных смесей с компенсированной усадкой
для наливных полов»

Студент

Р. С. Шустов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., доцент В.Н. Шишканова

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Составы и основные способы улучшения свойств наливных полов	6
1.1. Составы наливных полов.	6
1.2. Суперпластификаторы и механизмы их действия на свойства цементно-песчаных растворов	18
1.3. Добавки, компенсирующие усадку наливных полов	20
Выводы по первому разделу	25
2. Характеристики применяемых материалов и методы экспериментальных исследований.....	26
2.1. Характеристика материалов	26
2.2. Методы исследования в соответствии с требованиями стандартов	34
Выводы по второму разделу.....	41
3. Состав и основные свойства композиций для наливных полов	42
3.1. Экспериментальные исследования влияния различных суперпластификаторов на свойства бетонной смеси	42
3.2. Влияние комплексной полимерной добавки на свойства цементного камня	60
Выводы по третьему разделу	62
Заключение	63
Список используемых источников	64
Приложение А Технические требования изготовления наливных полов	70

Введение

Актуальность работы. В проектировании и строительстве современных зданий и сооружений применяют требования снижения трудоемкости и снижения материалоемкости затрат. Производители, работающие над созданием новых строительных материалов, ведут постоянный поиск по усовершенствованию строительных и отделочных материалов. Одна из важных статей затрат при строительстве, а еще более при капитальном ремонте это работы по обустройству конструкции пола.

Большое распространение получили самовыравнивающиеся или самонивелирующиеся составы для устройства различных стяжек, под названием «наливной пол». Стяжки для окончательного выравнивания под основание основного чистого пола занимают особое место. Толщина финишных стяжек составляет обычно от 3 до 10 мм. Финишные стяжки должны соответствовать требованиям по ограничению усадочных деформаций необходимых для обеспечения трещиностойкости. Из смеси минеральных вяжущих веществ, мелкого заполнителя, тонкодисперсного наполнителя и набора из трех-семи функциональных добавок состоит рецептура сухой строительной смеси (ССС). Цель введения добавок в растворные смеси и строительные растворы - это обеспечение необходимых строительно-технических свойств.

Наливной пол должен соответствовать четким требованиям по ограничению деформации, адгезии к основанию. Готовая смесь должна обладать хорошей жизнеспособностью, высокой текучестью в процессе укладки.

Наливные полы являются самыми многокомпонентными, рецептура может состоять из 11 составляющих, разнообразие добавок на Российском рынке и отсутствие экспериментально подтвержденных закономерностей (состав-структура-свойства) затрудняют работу по созданию конкурентноспособных наливных полов у Российского производителя.

Обосновать с научной точки зрения принципы рецептурно-технологического регулирования ССС для наливных полов с компенсированной усадкой является актуальной современной проблемой.

При строительстве зданий и сооружений по современным требованиям необходима разработка высококачественного наливного пола. При капитальном ремонте существует возможность сократить затраты на материалы, до 30% сметной стоимости, что может существенно сэкономить затраты строительства при применении новых составов ССС.

Цель магистерской диссертации

Оптимизировать состав бетонной смеси для наливных полов, оценить пригодность природного песка Волжского месторождения и влияние суперпластификаторов отечественного и импортного производства на развитие деформаций и формирование прочности цементного камня наливных полов.

Предметом исследования магистерской диссертации являются составы и свойства бетонных смесей для наливных полов.

Объект исследования магистерской диссертации – наливные полы с использованием в качестве заполнителя природного песка Волжского месторождения и различных видов суперпластификаторов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Рассмотреть теоретические аспекты производства наливных полов.
2. Проанализировать свойства и характеристики применяемых материалов для исследования с выбором требуемых методов испытаний.
3. Установить основные закономерности формирования прочности и развитие собственных деформаций при оптимизации составов бетонных смесей с компенсированной усадкой для наливных полов.
4. Установить процессы формирования по оптимизации состава бетонных смесей наливных полов на основе природного Волжского песка, суперпластификаторов и химических добавок.

Методы исследования: анализ, сравнение, эксперимент, описание.

Научная новизна

1. Разработано представление о влиянии модифицирующих добавок на формирование прочности и развитие собственных деформаций цементного камня с компенсированной усадкой для наливных полов;

2. Подтверждены критерии оценки эффективности суперпластификаторов по изменению текучести смеси для наливных полов и усадочных деформаций цементного камня и количественная оценка критериев эффективности различных по химическому составу суперпластификаторов в сочетании с отечественным цементом;

3. Доказано, что управлять набором прочности и деформаций составов для наливных полов возможно использованием вяжущих с добавлением комплексного модификатора полифункционального действия с суперпластифицирующей и стабилизирующей добавок, полимерных порошков и расширяющих добавок сульфоалюминатного типа.

Практическая значимость. Разработан состав бетонной смеси для наливных полов на основе природного Волжского песка, композиционного цемента, гиперпластификатора и химических добавок различного действия.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований магистерской работы изложены в научных публикациях:

1. Шишканова В.Н., Шустов Р.С. Наливные полы с использованием песка Волжского месторождения / В.Н. Шишканова, Р.С. Шустов // XXII Международная научно-практическая конференция «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии». – 2020.
2. Шустов Р.С. Улучшение свойств сухой смеси для наливного пола // Научно-техническая конференция студентов ТГУ, 2020

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых источников из 44 наименований. Общий объем работы изложен на 71 странице машинописного текста, содержит 26 рисунок и 16 таблиц.

1 Составы и основные способы улучшения свойств наливных полов

1.1 Составы наливных полов

Пол - это многослойная конструкция, слои пола имеют определенное функциональное назначение. Основные конструктивные слои пола можно описать состоящими из последовательности (рис.1.1).

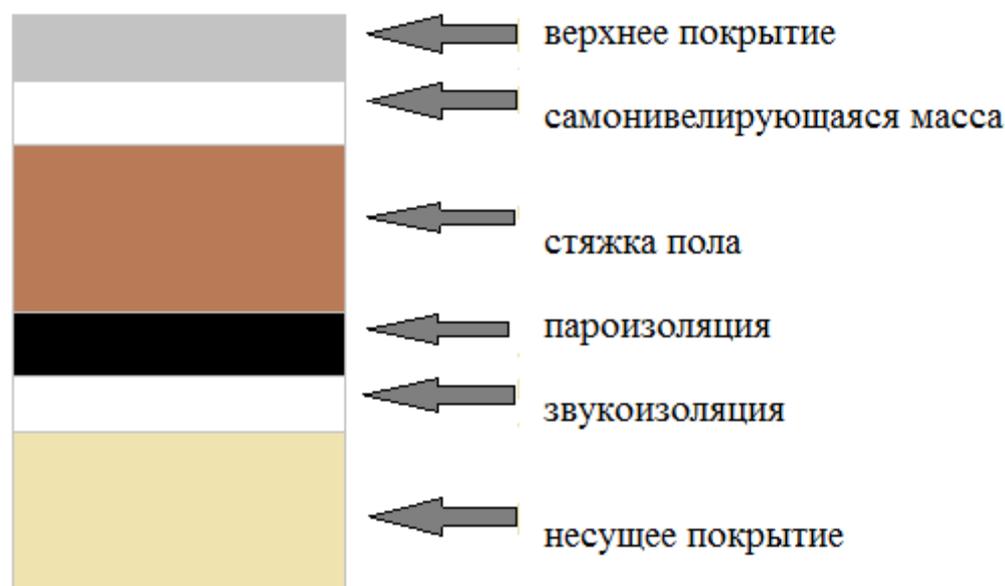


Рисунок 1.1 - Конструкция пола

От назначения пола, условий его эксплуатации зависят требования к его конструкции, толщине и количеству слоев. Основой любого слоя пола могут являться модифицированные сухие смеси.

Трудоемким и важным в строительстве элементов пола являются финишные стяжки. Широко применяется в качестве финишной стяжки под верхнее покрытие самонивелирующиеся полы.

В соответствии с СП 29.13330.2011 [52] стяжка предусматривает: «8.1..... выравнивание поверхности нижележащего слоя; распределение нагрузок по теплозвукоизоляционным слоям; обеспечение нормируемого теплоусвоения

полов; создание уклонов на полах по перекрытиям... », «8.3.....на перекрытии должны предусматриваться монолитные стяжки из цементно-песчаных растворов на основе смесей сухих строительных напольных на цементном вяжущем с прочностью на сжатие не ниже 15 МПа», «8.4. .. под полимерные покрытия монолитные стяжки из сухих строительных напольных на цементном вяжущем с прочностью на сжатие на ниже 20 МПа».

Самонивелирующие или самовыравнивающиеся смеси или наливные полы, это смеси способные равномерно распределяться в опалубке без вибрации во всем объеме, даже при наличии арматуры. Особенностью таких смесей является подвижность и осуществление устройства без принудительного уплотнения.

Производители постоянно создают новые покрытия, добавляя в состав новые компоненты, чтобы сделать наливной пол с дополнительными качествами, улучшенными техническими характеристиками. Поиск лучших технических характеристик при создании наливного пола это соблюдение ряда требований: не менее 10-15 минут должна сохраняться текучесть растворной смеси, должны отсутствовать: пенообразование, расширения или минимальная усадка, расслоения, трещины.

В основе состава наливного пола находится полимерный материал. В зависимости от типа полимера, который применяется для их создания, различают марки наливных полов:

Эпоксидные наливные полы - прекрасно ложатся на любое основание – бетон, металл, дерево, это износостойкие поверхности, нечувствительные к воздействию агрессивной химической среды, они экологичны и декоративны, но неэластичны, точечные удары способны нанести им неповторимый вред;

Полиуретановые наливные полы – в отличие от эпоксидных, прекрасно справляются с ударными нагрузками, они прочны, красивы, гигиеничны, хорошо работают в помещениях с повышенной влажностью, на производствах с использованием в рабочих процессах кислот и щелочей;

Эпоксидно-уретановые наливные полы – полы на эпоксидно-уретановой основе получается жестко-эластичным, обладает высокой прочностью, химически стоек. По своим показателям истирания сравним с эпоксидным полом, а по уровню эластичности – с полом из полиуретана. Часто применяется на платформах, в гаражных помещениях, для пандусов или стоянок с активным движением транспорта.

Метилметакрилатные наливные полы – редко встречающийся вид напольных покрытий из-за их высокой стоимости и сложности монтажа, благодаря свойства незаменимы при определенных обстоятельствах: при необходимости устройства покрытий на производствах с непрерывным циклом, промышленных холодильниках в условиях резких перепадов температур, при сверхвысоких нагрузках на основание,

Антистатические наливные полы – это технологии и материалы, применяемые в совокупности для устройства промышленных напольных покрытий, выполняющих функцию отвода статистических зарядов. Различают два основных вида: токопроводящий и не токопроводящий.

Полимерные наливные полы классифицируются и по другим признакам: это толщина, степень наполнения материала и тип применяемого растворителя. При классификации наливных полов по толщине выделяют такие типы:

а) тонкослойные (окрасочные) покрытия, толщина которых составляет до 1 мм, применяют в сухих помещениях с низкой проходимостью, которые должны соответствовать высоким гигиеническим требованиям, выдерживают легкие и средние нагрузки. Такое напольное покрытие имеет срок эксплуатации 4 года.

б) универсальные материалы толщиной 3 мм, которые применяются как декоративное напольное покрытие. Период эксплуатации составляет 10 лет.

в) специальные полимерные полы толщиной 3,5 мм. К таким покрытиям предъявляют жесткие требования по параметрам прочности, надежности. Служат 15 лет.

г) высокопрочные полимерные составы заливают слоем в 3 мм. Такое покрытие применяется в помещениях с большими механическими нагрузками. Срок службы более 25 лет.

д) полимерный пол с добавлением кварцевого песка (от 2 до 4 миллиметров), переносящий среднюю и тяжелую нагрузку.

Цементно-акриловые наливные полы – покрытие с комбинированным составом, получаемым вследствие введения в цемент поликрилатных сополимеров и различных наполнителей, в результате получается поверхность, устойчивая к влиянию влажной и химической среды, не подверженная истираемости, обладающая противоскользящими свойствами.

Помимо типа полимера, все составы включают дополнительные материалы, которые отличаются по виду, назначению. Например в помещении, где живут и работают люди лучше использовать эпоксидный пол. Применение наливных полов из полимеров актуально для предприятий химической, пищевой, атомной промышленности. На такие поверхности агрессивные химические вещества не оказывают никакого влияния. Полиуретановые и эпоксидные поверхности нечувствительны к истираемости, поэтому обширно используются в общественных помещениях – холлах и коридорах общественных зданий, в залах ожидания общественного транспорта.

Положительные характеристики наливных полов:

- прекрасная износостойкость и малая восприимчивость к ударам;
- долгая эксплуатация, замечательный внешний вид;
- отсутствие токсичных компонентов, неподверженность возгоранию как дополнительная безопасность;
- отличная герметичность, непромокаемость и пылезащита;
- абсолютная влагонепроницаемость;
- разнообразие выбора подходящих по цене наливных полов, с различным расходом на 1 кв. м;
- основанию пола не нужна долгая и тщательная подготовка, что снижает общую стоимость строительства;

- простота и удобство в проведении работ по устройству полов;
- плюсом является то, что метиметакрилатные смеси очень быстро полимеризуются и могут быть уложены даже при отрицательных температурах окружающего воздуха;
- достоинства эпоксидных смесей в их стойкости к химическим веществам и возможности создания декоративного слоя;
- полиуретановые смеси обладают износоустойчивостью, прочностью и легкостью;
- плюсами цементных составов являются: хорошая адгезия с основанием, внушительная толщина покрытия, которая может достигать 12 мм. Такой пол не скользкий.

Недостатки наливных полов:

- плохая эластичность, что делает невозможным их использование в местах с ударным воздействием и другими видами деформации;
- быстрая и профессиональная укладка из-за моментального затвердевания, а также проветривание помещения по причине резкого запаха (метилметакрилатные наливные полы);
- наливные полы которые достигают 12 мм достаточно трудоемкий в монтаже; полиуретановый пол трудно смонтировать, по причине необходимости тщательного выравнивания основания и наличия небольшой влажности. - возможно возникновение усадочных трещин по причинам:
 - конструктивным: ошибки при проектировании и методах строительства, условий эксплуатации, недостатки применяемых материалов;
 - неконструктивным: появляются после усадки, характерны преждевременной пластичной усадке.

«Конструкция пола, количество его слоев, их толщина и требования к основным показателям зависят от назначения и состояния основания пола, а также условий его эксплуатации. Модифицированные сухие смеси могут являться основой практически для любого из вышеуказанных слоев.

При разработке самонивелирующихся составов для пола (далее наливной пол) рекомендовано учитывать следующие требования: время сохранения текучести растворной смеси – не менее 15 мин; отсутствие или минимальная усадка (расширение); отсутствие седиментации (расслоение); отсутствие трещин в слое рабочей толщины; отсутствие пенообразования.

Наливной пол является композиционным материалом, основой которого являются неорганические вяжущие вещества, мелкий заполнитель, минеральный наполнитель и комплекс полимерных добавок полифункционального назначения»[41].

Усадочные деформации – недостаток полимерцементных композиций для наливных полов. Чтобы устранить усадочные деформации цементного камня модифицированного полимерами, увеличить характеристики наливных полов требуется произвести действия.

Усадочные деформации бывает у многих строительных материалов в основе которых цементный камень, обладающий свойством уменьшения объема в процессе твердения. Свойство цементного камня: усадка вызывает напряжение в камне и приводит к образованию усадочных трещин с последующим разрушением.

Полимер и его функция в цементно-полимерной композиции зависит от дозировки и может быть следующая:

- в составе композиционного материала органический полимер присутствует как модификатор твердения цемента и не образует собственных фаз. Полимеры действуют на сорбции поверхности цементных минералов. В пересчете на полимерцементное отношение (полимер цемент как правило не превышает 0,01) концентрация таких полимеров очень мала в системе. Такими композициями являются цементные растворы и бетоны, содержащие суперпластифицирующие добавки;
- модификатором процесса гидратации цемента является водорастворимый органический полимер, в том числе за счет образования собственной коллоидной гидратации цемента фаз. Полимер содержание может достигать в

этом случаи величины полимер цемент = 0,1. Применяются в качестве полимерного компонента системы водорастворимые эфиры целлюлозы, эфиры крахмала.

Структуру формирующим композиционный материал наряду с неорганическим вяжущим самостоятельно формирует органический полимер в виде дисперсии или редиспергируемого порошка, являющийся самостоятельным вяжущим.

Если полимер содержание меньше в композиционном материале, в пределах (полимер-цемент = 0,1-0,3), такое характеризуется сплошной фазой, неорганической цементной матрицы, содержащей распределенные частицы органического полимера. Если полимера содержится в системе больше (полимер-цемент >0,3) появляются пространственные полимерные образования и формируется гибкая полимерная структура.

Для придания необходимых технологических свойств необходимо подобрать рецептуру сухих строительных смесей, влияние полимерных добавок на полимерцементные композиции в этом случае значительное.

Для успешной конкуренции на рынке строительных материалов необходима разработка грамотной рецептуры сухой строительной смеси для наливных полов.

В данной работе проведены самостоятельные исследования для подбора совместимости компонентов. Взяв за исходное, базовое рецептуру наливного пола.

Сырьевые компоненты России разнообразны, вяжущие вещества, заполнители или наполнители могут отличаться от использованных при составлении базовых рецептов. Рецептуры наливных полов составляются на основе местных сырьевых материалов, тех местностей где непосредственно расположена фирма производитель, это одна из причин необходимости разработки универсальных составов полимерцементных композиций для наливных полов. Фирмы производители ограничивают перечень добавок используемых в своих базовых рецептурах. Чтобы создать оптимальную

рецептуру в которой будет недорогая цена и высокое качества производитель должен использовать добавки различных фирм.

Изменения базовых материалов (вяжущих, наполнителей) меняет состав сухой строительной смеси, что может привести к значительному изменению свойств.

Оптимизация рецептуры наливного пола даст возможность решить проблему нестабильности качества сырьевых компонентов. Достичь результата при создании оптимального рецепта наливного пола, в котором будут присутствовать повышенные технические и эксплуатационные свойства, где устранены усадочные деформации цементного камня модифицированного полимерами желание каждого производителя сухой строительной смеси.

Проблема усадки, усадочной деформации, уменьшения объема в процессе твердения присуща строительным материалам. Усадочный процесс может являться причиной усадочных трещин и последующего разрушения. При изучении природы усадочных деформаций были выделены виды усадки:

- влажностная, при высыхании свежешелюженного раствора, вызванная действием капиллярных сил;
- химическая, вызвана процессом гидратации цементного камня, уменьшение объема относительно первоначального объема цемента и воды;
- карбонизационная, возникает при взаимодействии углекислого газа с гидроксидом кальция, превращение гидроксида в карбонат кальция.

Процесс усадки смеси для наливного пола зависит от многих факторов: влажность и температура окружающей среды, тонкость помола цемента, процент содержания полимера в составе.

Учеными были изучены свойства самонивелирующих масс для наливных полов (СНМ) и влияние на них различных модификаторов с основой СНМ. Выводы, к которым пришли ученые – происходит некоторое повышение прочности на сжатие, если будет повышено содержание полимера в составе раствора. Установлено, что абсолютная величина

снижения прочности ограничена, прочность на изгиб возрастает. В процессе твердения взаимодействуют несколько компонентов расширяющей добавки происходит расширение затем твердение основного вяжущего.

В Российских расширяющихся цементах: водонепроницаемый, гипсоглиноземистый, напрягающий, добавляют к вяжущим глиноземистый цемент либо портландцемент, двухкомпонентную расширяющуюся добавку, включающую сульфат кальция и известь или высокоосновные алюминаты кальция.

За рубежом используют расширяющиеся цементы на основе портландцементного клинкера, содержащего наряду с C_3S , C_2S , C_4AF также расширяющий компонент $4CaO-3Al_2O_3-CaSO_4(C_4A_3\bar{S})$.

Водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ):

ВБЦ - быстросхватывающееся, быстротвердеющее вяжущее вещество, получаемое путем смешивания глиноземистого цемента, гипса и гашеной извести, смесь содержит не менее 85% глиноземистого цемента. Соотношение между известью и гипсом может изменяться в пределах от 2,0 до 1,0. ВБЦ - быстро схватывается, начало схватывания не позднее 5 мин, конец 10 мин, быстро твердеют, к 3 суткам 60...80 % марочной прочности. Образующийся цементный камень высокой водонепроницаемости выдерживает давление воды до 0,7 МПа. ВБЦ является безусадочным или слабо расширяющимся лишь во влажной среде, в сухих условиях обнаруживает усадку.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ):

ВРЦ - быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество. ВРЦ получают смешиванием или совместным помолом, полуводного гипса (20%) глиноземистого цемента (70%) обеспечивающего твердение и изменение объема цементного камня и молотого высокоосновного гидроалюмината кальция $4CaO-Al_2O_3 \cdot 13H_2O$ (10%). Расширение ВРЦ происходит в течение 24 часов, через 6 ч. Твердение набирает прочность 7,5 МПа, через 28 суток имеет марку 500. ВРЦ - применяется для гидроизоляции различных резервуаров, шлюзов, бассейнов трубопроводов, фундаменты промышленных и гражданских

зданий. Применяется при положительных температурах с пониженной морозостойкостью.

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент (ГГРЦ):

ГГРЦ- быстротвердеющее на воздухе или в воде вяжущее вещество, содержит не более 30 % гипса, смесь состоит из двухводного сернокислого кальция и высокоглиноземистого шлака. Цементная смесь ГГРЦ схватывается не ранее 10 минут... конец схватывания не позднее 4 часов. В воде у ГГРЦ происходит расширение цемента, через час не менее 0,1%, через 3 суток не менее 0,6%. Способность к деформации у гипсоглиноземистого цемента незначительно выше, чем у глиноземистого. ГГРЦ первые 3-7 суток должен расширяться в водной среде, при твердении на воздухе цемент дает усадку и не расширяется. Если комбинировать процесс твердения то при первых 3-е суток ГГРЦ в воде расширяется, в дальнейшем на воздухе дает усадку с расширением около 0,15 %. ГГРЦ, растворы и бетоны на его основе обладают атмосфероустойчивостью и морозостойкостью, применяется для использования безусадочных и расширяющихся водопроницаемых растворов, гидроизоляционных штукатурок, для усиления конструкций, омоноличивания, подливки фундаментов.

Расширяющийся портландцемент (РПЦ):

РПЦ - гидравлическое вяжущее, получается совместным помолом портландцементного клинкера (58...63 %), глиноземистого клинкера или шлака (5...7 %), гипса (7...10 %) , доменного гранулированного шлака или другой минеральной добавки (23...28 %). РПЦ отличается высокой плотностью, быстрым твердением, водонепроницаемостью цементного камня при условии регулярного увлажнения первые трое суток.

Напрягающий цемент (НЦ):

НЦ - быстротвердеющее вяжущее вещество, быстросхватывающееся получаемое путем тонкого измельчения смеси, состоящей из портландцемента (65...75 %), глиноземистого цемента (13... 20 %), гипса(6...10 %), содержание SO₃ (не менее 3,5 % и не более 7 %). НЦ отличается от РПЦ большей

химической энергией расширения, достаточной для самоупругения арматуры. НЦ затворенный водой сначала твердеет, затем набирает прочность около 15 МПа расширяется как твердое тело и напрягает арматуру из стали независимо от ее расположения к конструкции не используя механические или термические способы натяжения арматуры. В НЦ при расширении арматура получает трехосное, двухосное напряжение. Марка НЦ-20 (цифра обозначает расширение в долях МПа) проявляет безусловные свойства для изготовления бетонов с компенсированной усадкой, линейное расширение не более 2%. НЦ-40 и НЦ-60 используют для получения самоупругенных железобетонных конструкций, водонепроницаемых бетонов, линейное расширение не более 2,5%. Схватывание НЦ с начала затворения должно наступать через 30 мин, а конец не позднее 4 часов, прочность сжатия для НЦ-20 и НЦ-40 через сутки 15 МПа, через 28 суток 50 МПа. Увеличить самоупругения возможно введением до 2% извести от общей массы цемента. НЦ используют при строительстве спортивных сооружений, резервуаров для воды, для строительства аэродромов и дорог, особенно эффективен в напряженных стыках элементов сооружений, обладает свойствами бензо, газо, водонепроницаемостью конструкций.

Полученные результаты ученых на портландцементе иностранного производства отличающегося по химическому, физико-механическому свойству от производителей Российского производства. Необходимо провести исследования влияния вяжущего вещества на основе отечественных материалов в производстве наливного пола.

Необходимо отметить ССС дорожке смеси песка и цемента. Добавки в составлении смеси составляют подавляющую стоимость материала, подбор рецептуры с минимальным химическим составляющим задача в создании ССС.

Применение модификаторов многофункционального действия с различными вяжущими веществами (гипсоцементного, гипсового, магниального) для устройства наливного пола задача которую решают ученые и производители ССС.

«Исследования в направлении получения покрытий для пола с высокой прочностью, удлинением при разрыве, достаточной адгезией к стяжке, и при этом технологичной проводились К.А. Акмалаевым (Казахская государственная архитектурно-строительная академия, г. Алматы). Для наливных самонивелирующихся полов использовалась композиция на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ), в качестве пластифицирующих добавок — суперпластификатор С-3, а замедлителя схватывания - тринатрий-полифосфат. В данной работе проводилась оптимизация составов для наливных полов и рассматривалось влияние суперпластификаторов и замедлителей схватывания на свойства ГЦПВ и бетонов. В ходе исследований разработана комплексная добавка, повышающая пластичность и жизнеспособность гипсоцементно-пуццолановой смеси практически без снижения ее прочности. Однако, использование ГЦПВ также имеет определенные трудности: ограниченный выбор пуццолановых добавок в регионе; отсутствие возможности регулирования сроков схватывания ГЦПВ и др. Кроме того, применение ГЦПВ не решает проблемы ограничения усадки.

Все большее применение при устройстве полов находят смеси на магнезиальном вяжущем веществе. Бетоны и растворы на основе магнезиального цемента имеют следующие свойства: высокая конечная прочность (>40 МПа, $R_{цзг} \sim 10$ МПа), высокий темп набора прочности (более 70 % от R_{2g} в первые сутки твердения), устойчивость к ударным и динамическим нагрузкам, высокая износостойкость, возможность применения как органических так и минеральных заполнителей, гигиеничность, устойчивость к воздействию кислот и щелочей, различных микроорганизмов и грибков»[41].

Производители использующие при создании сухих строительных смесей для наливных полов магнезиальное вяжущее рекламируют ее как высокопрочную, бесшовную, безусадочную, химическистойкую, обладающую стойкостью к микроорганизмам. Анализ применения подобного вяжущего показал ряд минусов: необходимо иметь сырьевую базу рядом с производством,

низкое качество вяжущего (отходы производства огнеупоров), отсутствие технологий применения магнезиальных растворов в строительстве.

Недостаток наливных полов на основе портландцемента медленная скорость твердения. Для более быстрого ускорения твердения раствора добавляют глиноземистый цемент (ГЦ).

1.2. Суперпластификаторы и механизмы их действия на свойства цементно-песчаных растворов.

Качественный наливной пол можно получить используя различные виды вяжущего вещества или их комбинаций. Обеспечить хорошую прочность, водоудерживающую способность, высокую подвижность смеси возможно при использовании суперпластификатора, добавки стабилизирующего действия.

Суперпластификаторы – добавки для строительных растворов, органические или неорганические вещества или их смеси, за счет введения которых регулируются свойства этих смесей. Высокотехнологичные текучие смеси используются при создании рецептуры качественных наливных полов. Изучение взаимодействия суперпластификаторов с цементами очень важно. Добавки для растворных смесей бетонов, применяемые для модифицирования их свойств различны и зависят от эффекта действия:

- регулирующие сохраняемость подвижности , стабилизирующие готовых к употреблению растворных смесей;
- газообразующие, пенообразующие, воздуховолекающие;
- придающие специальные свойства (противоморозные, гидрофобизирующие);
- изменяющие свойства (повышение прочности, снижение проницаемости).

Требования к работе суперпластификатора в смеси: разжижение бетонной смеси, снижение водопотребности, нарастания прочности цемента и бетона, не оказание негативного влияния на процессы гидратации.

Принцип действия суперпластификаторов (рис 1.2) электростатическое диспергирование, основанное на смещении частиц цемента. Молекулы СП адсорбируются на гидратирующихся цементных зернах, создается электрический заряд, в результате адсорбции СП на поверхности частиц твердой фазы прекращается действие электрического заряда.

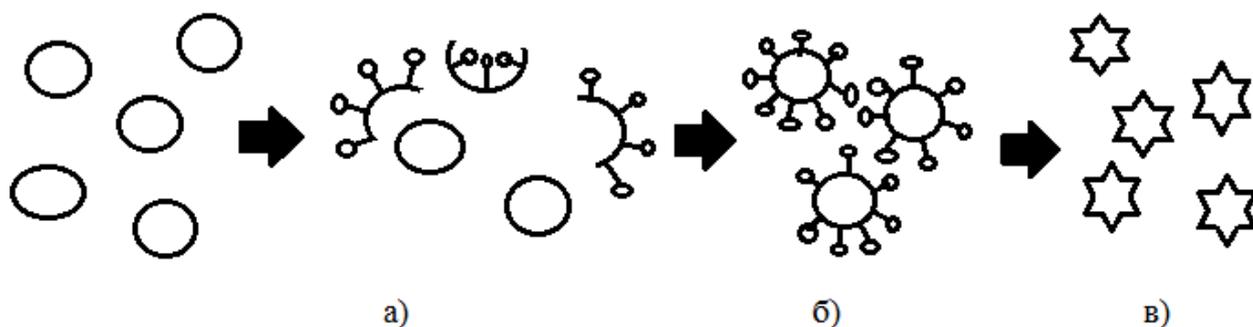


Рисунок 1.2 - Принцип действия суперпластификатора (1-частицы цемента; 2- молекула суперпластификатора).

Точного ответа влияния СП на деформации усадки цементного камня нет, либо противоречива, проблема трудна для изучения.

В проведенных исследованиях данной работы использовались различные методики позволяющие учитывать влияние различных суперпластификаторов на прочность и деформацию цементного камня.

1.3. Добавки, компенсирующие усадку наливных полов

Самовыравнивающиеся сухие смеси выпускаются в большом ассортименте, базовые компоненты из которых состоит наливной пол:

Вяжущие компоненты – портландцемент или гипс, после затворения водой раствор постепенно преобразуется в прочный, ударостойкий и долговечный цементный или гипсовый камень.

Минеральные наполнители – промытый кварцевый песок, керамзитовый гравий, зола уноса и др. Этот компонент уменьшает усадку цементного раствора.

Различные добавки:

- полимерные присадки – модификаторы, пластификаторы, стабилизаторы, ингибиторы, редисперсии и многое другое. В одном продукте может сочетаться до 15 различных аддитивов;
- минеральные и органические составляющие. К примеру, для армирования в продукт вводится стеклянное волокно. Для замедления реакции отверждения – лимонная кислота или винная, а для увеличения коэффициента удобоукладываемости – карбонаты.

Составы наливной смеси зависят от разновидности материала:

- цементные композиции, содержащие исключительно белый либо серый цемент (портландцемент) марки М300-М500;
- цементно-гипсовые или гипсово-цементные смеси, сочетающие в себе вяжущие двух типов: цементный порошок и полугидратный гипс марки Г3-Г7. Реже ангидрит (в дорожных продуктах). Процентное содержание зависит от того, какой элемент в названии материала указан первым;
- наливные быстротвердеющие гипсовые полы, базовым в продукте является гипс;
- минеральные наполнители, если используется кварцевый песок, то он должен быть фракционным.

Последняя группа добавки. Как правило, производители не используют комплексные составы, потому что невозможно предугадать точную реакцию всех элементов в наливной композиции. Минимальный набор – пластификаторы, модификаторы, водоудержатели, пеногасители, адгезивы, замедлители твердения. Примером является состав наливного пола группы гомпании «Велкомс+» (таблица 1.1).

Таблица 1.1- Состав наливного пола группы компаний «велкомс+»

Наливной пол Agitan P 803	Сырье гр.
Портландцемент	15,0
Зола уноса	5,00
Мелкая фракция карбоната Са	6,00
Кварцевый песок 0,1-0,4 mm = F 34	50,0
Более крупная фракция карбоната Са	18,0
Виннапас 5023 L (5011 L)	2,00
Peramin SMF – 20 (пластификатор)	1,00
Agitan 803 (антивспениватель)	0,5-0,9
Метилцеллюлоза Tylose H300 P2	0,03-0,1
Количество воды для затворения около 180 мл. на 1 кг сухой смеси	

Производителями сухих смесей для наливных полов предлагаются готовые к применению смеси (таблица 1.2).

При устройстве наливных полов необходимо правильно подобрать состав, чтобы получить в результате безусадочный наливной пол. Природа усадочных деформаций для составов наливного пола была изучена Налимовой А.В. [38]. Налимовой А.В. выявлена природа усадочных деформаций раствора наливного пола, представлена зависимость усадки от потери свободной воды (рис. 1.3). Полученный результат зависимостей в течение 28 суток в процессе твердения показал, что потеря влажности составляет 75% и достигается примерно 20% усадки от усадки при полном удалении воды. Анализируя зависимость, был сделан вывод, что композиции полимерцементных составов для наливных полов характеризуются компенсацией усадки на ранних сроках твердения.

Технология устройства полов предусматривает установку верхнего покрытия на наливную стяжку после семи дней, значит, испарения, вызванные свободной водой не будут подвергаться деформациям усадки.

Таблица 1.2 - Характеристики сухих быстротвердеющих смесей с компенсированной усадкой для наливных полов

Характеристики	MapegroutHi -Flow	MapegroutH i-Flow 10	АРБ10	АРБ 10 Ф
Класс, EN 1504-3:	R4	R4	R4	R4
Макс. диаметр заполнителя, мм:	3	10	10	10
Кол-во воды затворения, % от веса сухой смеси:	12,0-13,6	8,6-9,4	8,6–8,8	8,6–8,8
Плотность раствора кг/м ³	2300	2300	2420	2420
Температура нанесения:	от +5°C до +35°C	от +5°C до +35°C	от +5°C до +35°C	от +5°C до +35°C
Жизнеспособность смеси при +20°C, минут:	60	60	60	60
Предел прочности на сжатие, Мпа –через 24 часа: –через 28 суток:	35 80	28 60	30 65	40 75
Предел прочности на изгиб, МПа:	12	8	8	14
Модуль упругости, ГПа:	27	25	32	35
Адгезия к бетону, МПа:	2	2	2	2
Морозостойкость в солях, не менее:	F300	F300	F300	F300
Водонепроницаемость	W16	W16	W16	W16
Адгезия к бетону после 50 циклов замораживания/оттаивания в солях антиобледенителях, МПа	2	2	2	2
Толщина нанесения, мм:	10-40	40-100	50-300	50-300
Расход, кг/м ³ на 1 см толщины слоя:	20,5	21,5	21,5	22,5

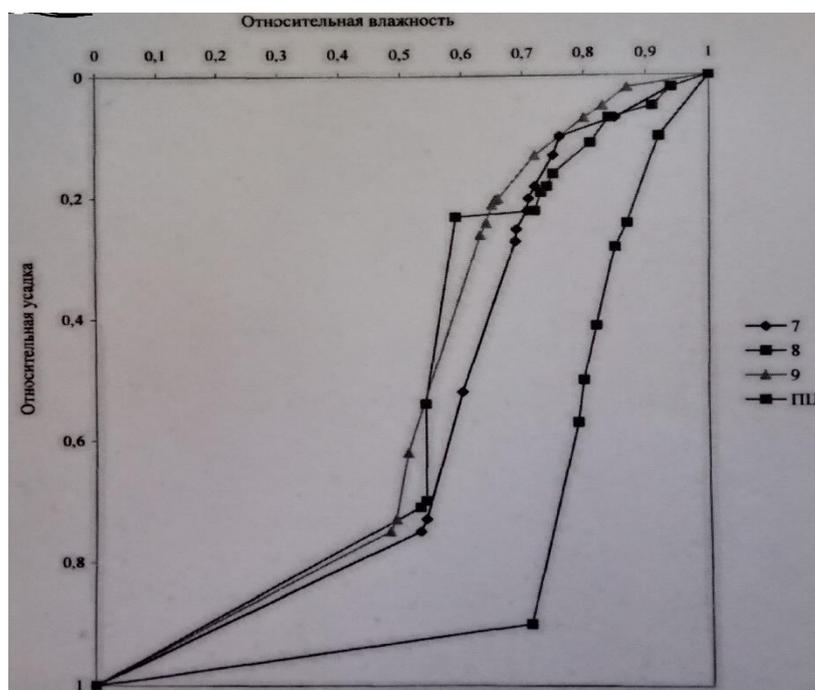


Рисунок 1.3 - Зависимость усадочных деформаций затвердевшего раствора наливных полов от влажного состояния образцов

«Принятые обозначения:

ПЦ – цементный камень

7- раствор наливных полов МК=26,3%ВА=1%;

8-раствор наливных полов при МК=26,3% ВА=1,3%;

9-раствор наливных полов при МК=26,3% ВА=1,6%

Результаты исследования влияния наполнителя на прочность полимерцементных композиций для наливных полов отражена» [40] (рис. 1.4).

При анализе полученных данных «определения прочности на сжатие, изгиб и адгезию к основанию полимерцементных композиций для наливных полов сделан вывод: введение наполнителя не ухудшает прочностные свойства материала. Прочность на сжатие практически не изменяется при использовании наполнителя и соответствует нормативным требованиям,

обеспечена прочность на сжатие не менее 20 МПа. Введение наполнителя тоже не повлияло на прочность на изгиб»[40].

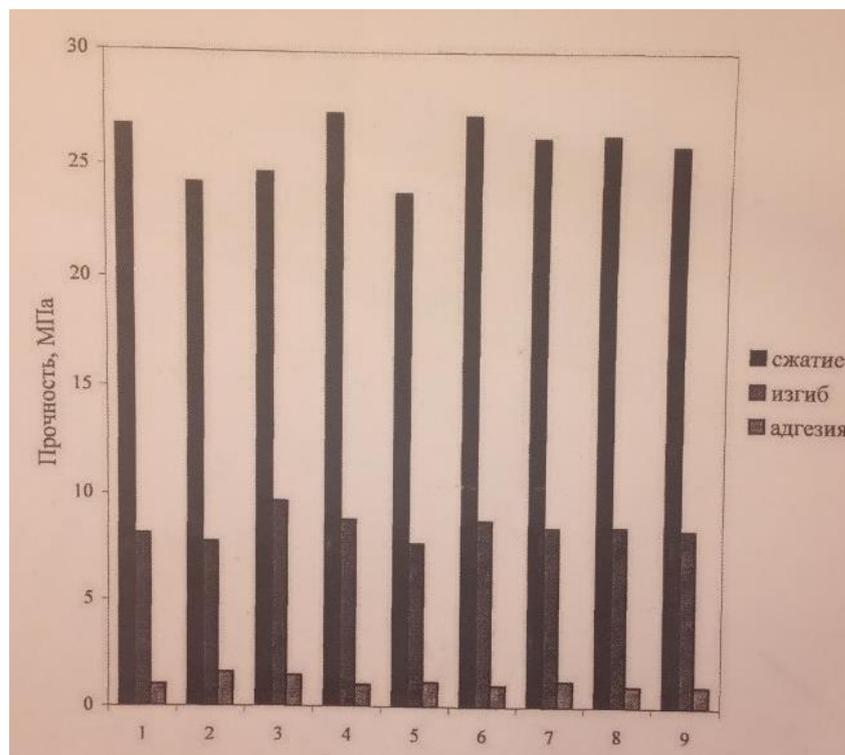


Рисунок 1.4 «Прочность на сжатие затвердевшего раствора наливного пола в возрасте 28 суток при В/Ц=0,56»[40]

Принятые обозначения композиции для наливных полов:

1- МК=0 ВА=1%

2- МК=0 ВА=1,3%

3. МК=0 ВА=1,6%

4.МК=17,5% ВА=1%

5 МК=17,5%ВА=1,3%

6.МК=17,5%ВА=1,6%

7.МК=26,3%ВА=1%

8.МК=26,3%ВА=1,3%

9.МК=26,3%ВА=1,6%

Выводы по первому разделу

Учеными доказана возможность регулирования сроков схватывания, набора прочности, развития деформации путем добавок ускорителя и замедлителя твердения, модифицирования ГГРЦ портландцемента.

Определены составы быстротвердеющих наливных полов с высокими показателями качества.

Разработана методика оценки эффективности суперпластифицирующих добавок. Предложены критерии эффективности отражающие влияние на текучесть смеси, гидрационную активность, величину усадки цементного камня с учетом снижения водоцементного отношения при введении суперпластификатора.

Разработана методика расчета состава полимерцементной композиции с компенсированной усадкой на основе портландцемента.

2 Характеристика применяемых материалов и методы экспериментальных исследований

2.1 Характеристика материалов

Исследования экспериментальной части проводились в лаборатории Центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства Архитектурно-строительного института. В соответствии с требованиями действующих государственных стандартов в работе использованы различные методы исследования материалов и бетонов.

В качестве заполнителя для изготовления наливной смеси использовались: промытый Волжский песок.

Зерновой состав песка определяют при помощи стандартного набора сит с ячейками размера: 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16. Определяют сначала частные, а затем полные остатки на каждом сите просеивая сухой песок. Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Зерновой состав песка выражен размерами полных остатков.

Согласно ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» природный Волжский песок по значению модуля крупности относится к группе песка «Очень мелкий». Полный остаток песка на сите с сеткой № 63 не соответствует значениям, указанным в таблице 2 ГОСТ 8736-2014.

На основании результатов ситового анализа рассчитывают безразмерный показатель - модуль крупности песка ($M_{кр}$):

$$M_{кр} = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) / 100, \quad (2.1.1)$$

где: $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,16}$ - полные остатки на ситах с размерами ячеек соответственно 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16 мм.

Цилиндрическим сосудом вместимостью 1 дм³ определена насыпная плотности песка (предварительно определяем массу пустого сосуда m_c , г). С высоты 10 см совком песок засыпают в мерный сосуд до тех пор, пока песок не образует конус над краями сосуда. Сосуд с песком взвешивают, предварительно срезают избыток песка, определяя массу песка в сосуде по формуле:

$$\rho_{\text{нас}} = m_{\text{с+п}} - m_c / V, \quad (2.1.2)$$

где $m_{\text{с+п}}$ – масса сосуда с песком, г, V – объем сосуда, см³.

Пылевидные и глинистые частицы их содержание в песке определяются по методике методом отмучивания в процентах по массе по формуле:

$$П_{\text{отм}} = (m - m_1 / m) \cdot 100 \quad (2.1.3)$$

где: m – сухая масса навески до отмучивания, г,

m_1 – сухая масса навески после отмучивания, г.

Характеристика природного Волжского песка приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристика природного Волжского песка

Насыпанная плотность, кг/м ³	Гранулометрический состав						
	Остатки на ситах, мм (частные/полные)						
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16	М кр.
1470	$\frac{0,41}{0,41}$	$\frac{0,4}{0,81}$	$\frac{1,19}{2,0}$	$\frac{30,1}{32,1}$	$\frac{65,8}{97,9}$	$\frac{2,1}{100}$	1,33

Согласно ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» природный Волжский песок относится к группе песка «Очень мелкий» по значению модуля крупности.

В качестве вяжущего для приготовления растворной смеси использовался композиционный портландцемент типа ЦЕМ II, подтипа А с суммарным

содержанием пуццоланы и известняка от 12% до 20%, класса прочности 42,5, нормальнотвердеющий (Композиционный портландцемент ЦЕМ II/A-K(П-И) 42,5Н ГОСТ 31108-2016). Изготовитель: ООО «Холсим (РУС)».

В качестве пластифицирующих добавок для исследования композиций с использованием Волжского песка использовались суперпластификаторы:

- Cemmix CemPlast Plast ,
- STACHEMENT 2481,
- STACHEMENT 2280,
- Sika Viskocrete 25 RU.

Cemmix CemPlast пластификатор который применяется для изготовления высокопластичных литых бетонных смесей. «Суперпластификатор позволяет получить высокоподвижные бетонные смеси, снизить трудозатраты на обработку и кладку бетона, снижает количество воды в бетонной смеси, повышает степень реагирования цемента, прочность и долговечность бетонных изделий. Рекомендуются при бетонировании фундаментов, стен, перекрытий, устройства полов, стяжек, изготовлении тротуарной плитки, шлакоблоков, еврозаборов и т.п. Позволяет получить литые бетонные смеси без расслоения и водоотделения. Состав добавки адаптирован к отечественным заполнителям и цементам» [50].

Основное действие «CemPlast» - «пластификация достигается действием комплекса многофункциональных полимеров с гидрофобными и гидрофильными поверхностно – активными свойствами изменяющими смачивание цементных частиц тем самым увеличивает растекаемость, а в последствии и прочность бетона» [51].

«Значительно экономит цемент; повышает удобоукладываемость бетонных и растворных смесей с П1 до П5; увеличивает раннюю (на 10-25%) и марочную (на 10-20%) прочность бетона (при неизменной удобоукладываемости); снижает водопотребность бетонной/растворной смеси на 10-20%; позволяет получить подвижные смеси, укладываемые без вибрации;

повышает живучесть бетонной смеси до 1,5-2 часов в зависимости от качества применяемых материалов, условий изготовления и транспортирования бетонной смеси; позволяет получить высокоподвижные бетонные смеси без расслоения и замедления твердения бетона в ранние сроки; повышает активность вяжущего и полноту гидратации вследствие пептизирующего действия добавки; увеличивает долговечность в 2-3 раза; предотвращает появление трещин» [51].

«Добавка вводится в 50% рекомендованный объем воды и вливается в бетонную/растворную смесь, тщательно перемешивается. Оставшаяся часть воды вливается порциями до достижения необходимой пластичности смеси. Рекомендованный расход воды может изменяться на 10-15% в зависимости от качества используемых материалов.

Состав добавки адаптирован к отечественным заполнителям и цементам, в том числе к шлакощелочным, с содержанием шлаков до 80%» [50].

Была применена суперпластифицирующая и суперводоредуцирующая добавка для бетонов - Sika Viskocrete 25 RU, которая может быть применена как сверхэффективный суперпластификатор обладающий высокими эксплуатационными характеристиками для бетонов, соответствует ТУ 2493-009-13613997-2011.

– Sika Viskocrete 25 RU обладает рядом преимуществ, технические характеристики: возможность производства бетонов с низкими деформациями и усадкой, водонепроницаемости, с повышением ранней и конечной прочности, долговечности бетона благодаря высокому водоредуцированию, изготовление высокоподвижных, самоуплотняющихся бетонных смесей. Основа Sika Viskocrete 25 RU это композиции модифицированных поликарбоксилатных эфиров. Жидкость белого цвета с плотностью (при 20 град. С): 1,070 – 1,085 кг/дм³, показатель pH: 4,0 – 6,0, предохраняя от воздействия прямых солнечных лучей, при температуре +5⁰С +35⁰С, рекомендуемая дозировка: 0,3 – 1,6 % жидкой добавки от массы цемента, не содержит хлоридов или других веществ, вызывающих коррозию арматуры

Sika Viskocrete 25 RU используется растворённым в воде или добавляется одновременно с добавлением воды в замес непосредственно в миксер. Введение пластификатора в сухую бетонную смесь то того, как будет произведено добавление воды, является недопустимым. С целью получения бетонной смеси однородной структуры, её перемешивание осуществляется не менее 60 секунд. Используется для производства высококачественного товарного бетона, производства ЖДИ высоких классов по прочности, изготовления долговечных бетонов с высокой стойкостью к истиранию и требованиями водонепроницаемости.

Для эксперимента был применен гиперпластификатор STACHEMENT 2280- готовый к применению изготовлен на основе поликарбоксилатов, высокоэффективный жидкий. Гиперпластификатор STACHEMENT 2280 обладает эффектом ускорения, что дает ранние высокие прочности бетона, относят к разряду «быстрых» гиперпластификаторов. STACHEMENT 2280 предназначен для производства качественных высокопрочных конструкционных бетонов, вибропрессованных изделий, жестких высокопрочных бетонов, бетонов набирающих прочность при термической обработке. Внешний вид: красно-коричневая жидкость. Продукт не горюч и физиологически безвредный. Плотность при 20 °C — $1,065 \pm 0,030$ г/мл. PH – 7 – 10.

STACHEMENT 2280 - экономит цемент, снижает себестоимость бетона; повышает раннюю и финальную прочность, водонепроницаемость и долговечность бетона; повышает оборачиваемость опалубки; увеличивает стойкость бетона против климатического и химического воздействия; уменьшает количество воды затворения; препятствует вовлечению лишнего воздуха в бетон.

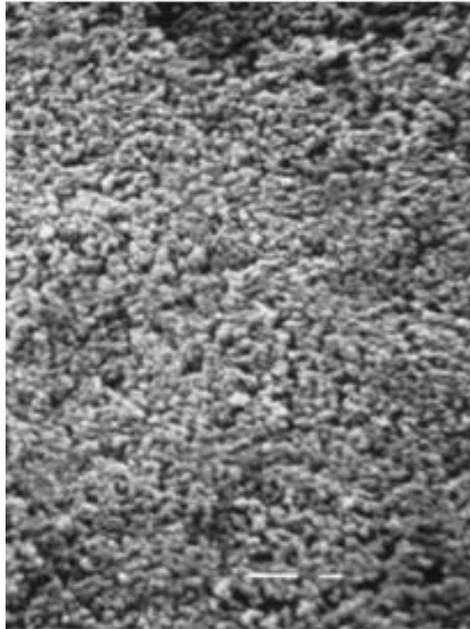
Был применен STACHEMENT 2481 – изготовленный на основе поликарбоксилатов. Внешний вид: красно-коричневая жидкость. Продукт не горюч и физиологически безвредный. Плотность при 20 °C – $1,055 \pm 0,030$ г/мл.

Универсальный суперпластификатор, универсальный с высокой ранней прочностью, предназначен для производства монолитных бетонных конструкций, высокопрочных бетонов, самоуплотняющихся бетонов, пластичных бетонов при изготовлении сборных железобетонных конструкций в том числе преднапряженных [37], архитектурных бетонов, самоуплотняющихся бетонов. Для получения высокого эффекта добавку рекомендуется вводить в влажную бетонную смесь в конце замеса.

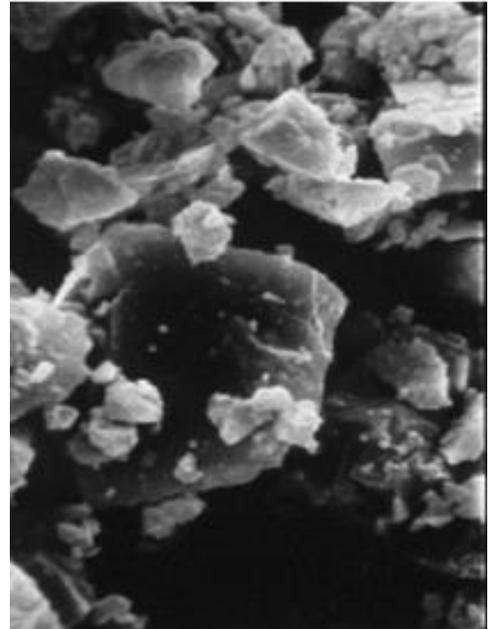
С целью улучшения свойств наливного пола и снижения расхода вяжущего была введена добавка микрокремнезема. Микрокремнезем является уплотнителем структуры бетона, взаимодействует с гидроксидом кальция, и способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, что позволяет получить бетоны высокой прочности [10]. Микрокремнезем позволяет увеличить срок службы конструкций из мелкозернистого бетона. Микрокремнезем формируется в процессе выплавки кремния или ферросилиция. После конденсации и окисления часть кремневой монооксида образует чрезвычайно мелкий ультрадисперсный порошок, его частицы, гранулы среднего размера составляют около 0,1 микрона, а это в сто раз меньше зерна цемента среднего размера. Его использование в бетонах позволяет получать высокие эксплуатационные характеристики (рис.2.1).

Введение в бетонную смесь микрокремнезема совместно с суперпластификаторами является правильным. Повышенное содержание микрокремнезема в смеси отрицательно сказывается на реологических свойствах суперпластификатора. Гранулометрический состав составляет 0,1 микрона, что в 100 раз меньше среднего размера зерна цемента [54].

«Введение добавки МК в портландцемент от 10 до 30% от массы цемента увеличивает водопотребность вяжущего по нормальной густоте с 25 до 29%. При этом для равнопластичных бетонных смесей ($OK=Const$) сокращается расход цемента до 30%, тогда как такое же количество МК в бетонной смеси того же состава, но при постоянном расходе цемента – увеличивает пластичность по осадке конуса в 4 раза» [49].



а)



б)

Рисунок 2.1 - Микроструктура минерального компонента модификатора

а) микрокремнезем (увеличение в 10 000 раз);

б) микрокремнезем (увеличение в 12 000 раз)

Частицы микрокремнезема имеют гладкую поверхность и сферическую форму.

Основным компонентом отхода является диоксид кремния в аморфной форме. Химический состав микрокремнезема представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.2 – Химический состав микрокремнезема

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	C	S
%	90-92	0,68	0,69	0,85	1,01	0,61	1,23	0,98	0,26

Значение показателя рН водной суспензии микрокремнезема составляет в среднем – 7,74.

«Микрокремнезем (МК) способствует уменьшению расхода цемента до 200 – 450 кг/м³, обладает высокой прочностью на сжатие 60 – 80 МПа и выше 80 МПа для мелкозернистых бетонов, повышает антикоррозионную стойкость, снижает водонепроницаемость на 50%, что повышает долговечность бетонов.

Как и все пуццолановые материалы, микрокремнезем вступает в реакцию с гидроксидом кальция Ca(OH)₂» [10], освобождаемой при гидратации

портландцемента для образования вяжущих соединений. «Очень высокая чистота и мелкость МК способствует более эффективной и быстрой реакции. При надлежащем рассеивании тысячи реактивных сферических микрочастиц окружают каждое зерно цемента, уплотняя цементный раствор, заполняя пустоты прочными продуктами гидратации и улучшая сцепление с заполнителями. Степень пуццолановой активности зависит от содержания реактивного кремнезема, но на практике между двумя видами материала с высоким содержанием кремнезема существует довольно незначительное различие. МК может обеспечить прочность на сжатие, намного превышающую прочность обычных бетонов, и здесь ограничивающим фактором является только прочность заполнителя» [26].

Недавно получивший подтверждение в опытах других стран, на примере Великобритании, показал, что 1 кг МК может обеспечивать такую же прочность как 3–5 кг обычного портландцемента, при умеренном содержании в обоих смесях МК и цементах, и одинаковой удобообрабатываемости.

Широкое применение добавок, особенно там где осуществляется выдерживание во влажном режиме нашли бетоны которые могут достигать очень высокой ранней прочности. Сочетание в смеси суперпластификаторов и добавление микрокремнезема в количестве 30 % дает возможность получения смеси с отношением вода-вяжущее ниже 0,3.

«Эффект заполнения пор, создаваемый пуццолановыми сферическими микрочастицами, способствует значительному уменьшению капиллярной пористости и проницаемости бетона. Фактически непроницаемый бетон можно получить при умеренном содержании МК и сравнительно низком содержании обычного портландцемента. Поскольку МК оказывает большее влияние на проницаемость, чем на прочность, бетон с содержанием МК всегда будет гораздо менее проницаемым, чем бетон эквивалентной прочности на обычном портландцементе» [26].

«Таким образом, следует отметить универсальность добавки МК как дисперсии, влияющей на тиксотропные свойства системы, через изменение

протяженности структурных элементов – цепочек и их перехода при контактных взаимодействиях в пространственные каркасные ячейки. Это условие соответствует минимальным значениям межфазного натяжения при максимальном развитии граничных поверхностей, что предполагает существование большого числа точечных коагуляционных контактов вплоть до создания предельно наполненной системы, в которой коллективный переход к сцеплению в ближнем порядке вызывает резкое упрочнение. Такой этап гидратообразования с коллоидацией кремнеземных частиц, за счет которых формируются пространственные упаковки, приводит к самоармированию твердеющей цементной системы композита» [15].

2.2 Методы исследования в соответствии с требованиями стандартов

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и последующем вычислении напряжений при этих усилиях.

Образцы изготавливают и испытывают сериями.

При изготовлении бетонной смеси и испытании образцов руководствовались требованиями ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные»:

- образцы изготавливали в поверенных (калиброванных) формах, соответствующих требованиям ГОСТ 22685 - 89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона» (рис.2.1);

- перед использованием форм их внутренние поверхности покрывали тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона;

- для приготовления растворов (бетонных смесей, предназначенных для испытаний, использовали воду по ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия»;

- началом перемешивания смеси считали момент соединения всей пробы сухой смеси с водой (момент затворения). При приготовлении вручную смесь перемешивалась непрерывно, с момента затворения водой не менее 3 мин.

В экспериментальных исследованиях могут возникать погрешности при неоднократном измерении. Погрешности можно разделить на систематические и случайные. Случайные погрешности при измерениях постоянны. Произведя одно измерение вывести случайную погрешность нельзя. В данной работе существуют систематические ошибки:

- влияние внешней среды (влажность, температура и т.д.);
- погрешности используемых инструментальных приборов (весы, измерительные приборы и т.д.);
- влияние влагосодержания в объеме предмета исследования.

Чтобы получить максимально близкие к истинному значению показатели, нужно применить рекомендации для практики изложенных в положении теории вероятности.

Только обработка многократных наблюдений, с построением соответствующих доверительных интервалов, для каждой серии многократных наблюдений, подтвердят достоверность получаемых экспериментальных значений. Относительная общая погрешность рассчитывалась методами учета доверительных интервалов и не исключенных остатков систематических погрешностей, в том числе по рекомендациям ГОСТ 8.207-76 [11].

Влияние суперперпластификаторов на свойство бетонных смесей для наливных полов изучалось при помощи комплексных методов исследования, изложенных в государственных нормативно-технических документах.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний» производили оценку подвижности бетонной смеси.

В соответствии с ТУ 5745-001-46561502-05 «Смеси сухие строительные» определялась водопотребляемость полимерцементной композиции для наливных полов по аналогии с определением нормальной плотности гипсовых вяжущих с использованием мини-вискозиметра Суттарда, с отличием

цилиндра, диаметром 50 мм и высотой 45 мм. Через 3 минуты после того как цилиндр поднят определяем диаметр растекания смеси по круговой шкале.

Мини-цилиндр Суттарда, установленный на предварительно увлажненное стекло, размером 250x250 мм (рис. 2.3) заполняли подготовленной смесью.



Рисунок 2.2 - «Формы для изготовления контрольных образцов бетона»
(а,б)



Рисунок 2.3 - Мини-цилиндр Суттарда

Мини-цилиндр Суттарда, заполненный самонивелирующим составом, резким движением поднимали, масса выливалась и растекалась по поверхности

стекла. После остановки расплыва смеси фиксировалась величина расплыва с взаимно перпендикулярных сторон (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 - Расплыв самонивелирующего состава

Текущность смеси при расплыве 200-220 мм считается нормальной.

При определении прочности бетона на сжатие образцы (рис.2.5) распалубливали через 24 ч.



Рисунок 2.5 - Образцы наливного пола перед распалубливанием

Были соблюдены общие требования по испытанию образцов на прочность:

- все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч;
- перед установкой образца в испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины;
- шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20% до 80% максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой;
- нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с.
- максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

Образцы цементно-песчаного раствора подвергались испытанию на предел прочности при сжатии. Производилось плавное нагружение до полного разрушения. Максимальное усилие разрушающей нагрузки определялось и фиксировалось.

Предел прочности испытуемого образца при сжатии $R_{сж}$ (МПа) рассчитывался по формуле:

$$R_{сж} = 10 F_{разр} / A, \quad (2.1.4)$$

где A — площадь поперечного сечения образца, $см^2$,

$F_{разр}$ - разрушающая сила, кг.

Испытанию образцов-кубов размером 70 x 70 x 70 мм проводили с учетом коэффициент пересчета прочности образцов данного размера на прочность образцов стандартного размера (150 x 150 x 150 мм) $K = 0,85$ в соответствии с требованиями ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки

прочности». Образцы кубы до испытания на предел прочности при сжатие представлены на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 - Образцы кубов размером 70x70x70

В результате исследований учитывалась:

- оценка влияния вида цемента и пластификаторов на свойства и прочность наливных полов. Зависимость характеристики прочности от тонкости помола и количества цемента в составе наливных полов, влияние пластификаторов на структуру смеси и качественные характеристики;
- характеристики суперпластификаторов и сохранение заданных характеристик - удобоукладываемости, плотности, прочности и долговечности состава наливных полов, но и оптимизация их в необходимых пределах и соотношениях.

Определение усадки образцов было проведено согласно ГОСТ 24544-81 «Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести». Для определения усадки были изготовлены образцы (рис.2.7), Величина усадки определялась с помощью специального устройство (рис. 2.8).



Рисунок 2.7 - Формы и готовые образцы для определения деформации усадки

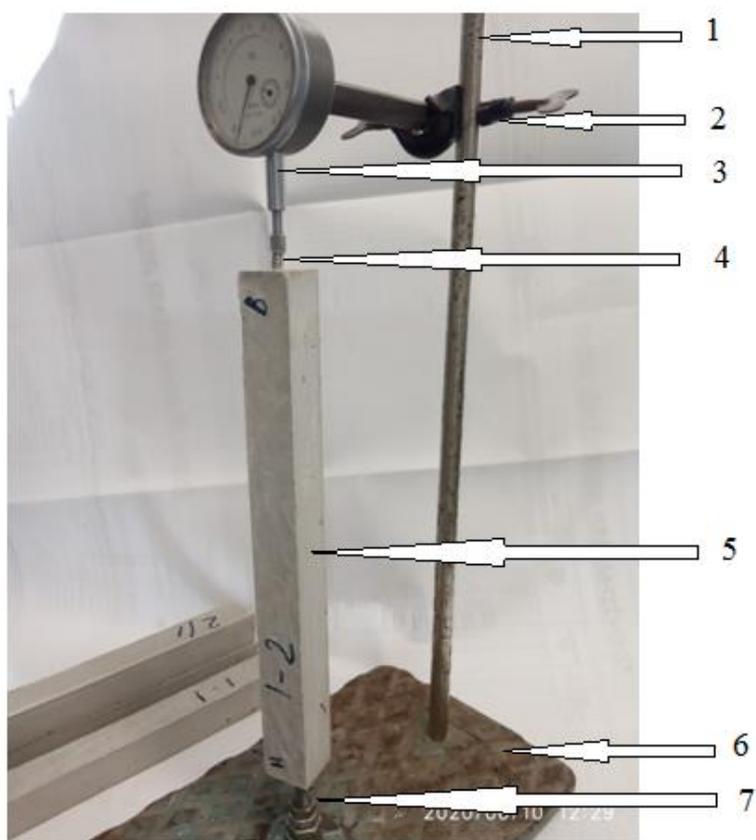


Рисунок 2.8 - Устройство для определения деформации усадки образцов
 1 –стойка; 2-кронштейн; 3- индикатор; 4 – репер; 5 – образец; 6 – нижняя опора;
 7 –конусообразный выступ;

Подготовку образцов к испытаниям осуществляли с их внешнего осмотра и определения линейных размеров, допускаемые отклонения которых от номинальных размеров должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10180-78.

Испытания для определения деформаций усадки проводились в помещении в котором постоянно поддерживают температуру (20 ± 2) °С и относительную влажность воздуха $(60\pm 5)\%$. Измерение деформаций только усадки следует начинать не позже чем через 4 ч после распалубливания образцов.

Выводы по второму разделу

Определены физико-механические свойства материалов используемых для проведения экспериментов. Выбраны методы исследований бетонных смесей для наливного пола в соответствии с требованиями стандартов.

3 Состав и основные свойства композиций для наливных полов

3.1 Экспериментальные исследования влияния различных суперпластификаторов на свойства бетонной смеси наливного пола

Процесс заливки наливных полов происходит быстро с малыми трудозатратами. Рабочий раствор наливного пола обладает самонивелирующимися свойствами, но при этом принудительно необходимо удалить пузырьки воздуха из залитого слоя, вовлеченных в раствор при его приготовлении. В рабочих условиях смесь распределяют игольчатым валиком (рис 3.1).



Рисунок 3.1- Игольчатый валик для распределения раствора по рабочей поверхности

Главное свойство наливного пола хорошая текучесть, т.е. они должны иметь определенную консистенцию. Данная консистенция получается путем подбора определенного состава раствора для наливного пола.

Большое значение для наливных полов имеет их прочность. Через 7-14 дней наливные полы должны быть готовы к укладке напольных покрытий.

В сроки 7-14 дней на комплексном вяжущем наливной пол может набирать прочность до 12 МПа. Когда процесс испарения влаги с поверхности прекращается то и прекращается набор прочности. В сухих помещениях процесс испарения влаги происходит быстрее, чем во влажных.

Получение композиций для наливного пола невозможно без суперпластифицирующих добавок. В настоящее время на рынке суперпластификаторов имеется большое количество данного продукта отечественного и импортного производства. Пригодность суперпластификаторов в сочетании с определенным видом цемента определяется путем сравнения показателей качества смесей и бетонов контрольных и основных составов. В экспериментах использовались суперпластификаторы, применяемые в регионе. В качестве заполнителя использовался природный песок Волжского месторождения, в качестве вяжущего – композиционный портландцемент ExtraCEM 500 цем II/A-K(П-И) 42,5Н ГОСТ 31108-2016 изготовитель: «Холсим (Рус)».

Оценка эффективности суперпластификаторов проводилась по увеличению подвижности (удобоукладываемости) с учетом влияния их на прочностные свойства. Используемая в исследованиях «методика оценки эффективности суперпластификаторов заключается в сравнении расчетных значений критериев эффективности с базовыми [28]. Одним из основных критериев эффективности является критерий:

$$Z = \left(\frac{B/Ц \text{ супер}}{B/Ц_0} \right)^{-1,3885} \quad (3.1.1)$$

численно равный возможному повышению предела прочности цементного камня за счет снижения $B/Ц$ при введении суперпластификатора. Учитывая, что суперпластификатор должен обеспечивать снижение водопотребности бетонной смеси не менее чем на 20%, величина Z для суперпластификатора

должна составлять не менее $(0,8)^{-1,3885} = 1,363$. Другим критерием эффективности суперпластификаторов является критерий:

$$K = \frac{(Ac)_{\text{супер}}}{(Ac)_0}, \quad (3.1.2)$$

численно равный отношению приведенного значения предела прочности цементного камня в присутствии суперпластификатора и без него. В соответствии с отечественными нормами допускается снижение прочности при применении суперпластификатора не более чем на 5%, т.е. должно выполняться условие $K > 0,806$ »[28].

Были изготовлены две серии образцов цементно-песчаного раствора Ц:П=1:3 и Ц:П=1:2, составы которых приведены в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1- Составы смесей для наливных полов состава Ц:П = 1:3

Компоненты смеси	п.1	п.2	п.3	п.4	п.5
	Количество в кг на 1 м ³				
Цемент Холсим В42,5 цем	387	420	435	425	443
Песок Волжский	1163	1260	1305	1275	1328
Вода	388	336	348	340	354
Cemmix CemPlast Plast	-	1% от Ц	-	-	-
STACHEMENT 2481	-	-	1% от Ц	-	-
Sika Viskocrete 25 R	-	-	-	1% от Ц	-
STACHEMENT 2280	-	-	-	-	1% от Ц
В/Ц	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8
Средняя плотность смеси, кг/м ³	1938	2016	2088	2040	2125
Распływ смеси, диаметр, мм.	175	175	190	190	190

Особенности поведения смеси при определенной подвижности смеси:

П.1 - контрольный образец: наблюдалась расслаиваемость;

П.3 - очень быстро садился состав после замеса. Воздух выходил интенсивно;

П.4 - расслаивание наблюдалось на третьей минуте;

П.5 - воздух выходит на тридцатой секунде. Расслоение не большое, аналогичное п.4.

Таблица 3.2 - Составы смесей для наливных полов состава Ц:П = 1:2

	п.6	п.7	п.8	п.9	п.10
	Количество в кг на 1 м ³				
Цемент Холсим В42,5 цем	525	576	607	568	602
Песок Волжский	1050	1152	1214	1136	1204
Вода	204	340	322	301	319
Cemmix CemPlast Plast	-	1% от Ц	-	-	-
STACHEMENT 2481	-	-	1% от Ц	-	-
Sika Viskocrete 25 R	-	-	-	1% от Ц	-
STACHEMENT 2280	-	-	-	-	1% от Ц
В/Ц	0,74	0,59	0,53	0,53	0,53
Средняя плотность смеси, кг/м ³	1965	2068	2143	2005	2125
Распływ смеси, мм.	180	190	200	210	200

Особенности поведения смеси при определении подвижности:

П.7 - воздух не выходит, смесь хорошая;

П.8 - выход воздуха наблюдается на первой минуте. Расслоение небольшое, жизнеспособность большая (30 мин.);

П.9 - воздух выходит постепенно. Жизнеспособность небольшая. Расслаиваемость небольшая. Распływ хороший;

П.10 – воздух выходит с 1 минуты интенсивно, жизнеспособность снижается.

Исследуемые образцы цементно-песчаного раствора выдерживались в течение 28 суток в сухом помещении и в возрасте 7 и 28 суток данные образцы раствора испытывались на предел прочности при сжатии.

Процесс испытания образцов размером 7,07x7,07x7,07 см в возрасте 7, 14 и 28 суток после выдерживания в сухих условиях твердения представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2- Процесс испытаний образцов на предел прочности

Образцы-кубы после испытаний на предел прочности при сжатии представлены на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 - Внешний вид образцов после испытания на прочность при сжатии

Результаты испытаний образцов цементно-песчаного раствора представлены в таблице 3.2 и рис. 3.4.

Таблица 3.3 – Предел прочности на сжатие растворных образцов

Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте	п.1	п.2	п.3	п.4	п.5
Ц : П = 1 : 3					
7 суток	8,8	9,4	15,1	12,2	12,6
28 суток	10,5	10,5	15,8	16,5	14,0
Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте	п.6	п.7	п.8	п.9	п.10
Ц : П = 1 : 2					
7 суток	18,6	14,3	23,7	21,7	20,4
28 суток	18,8	16,5	25,5	23,7	20,8

Принятые обозначения:

П.1 и п.6 – контрольные составы, приготовленные из сухой смеси без добавления пластификаторов.

П.2 и п.7 – составы из сухой смеси с добавлением суперпластификатора Cemmix CemPlast Plast.

П.3 и п.8 – составы из сухой смеси с добавлением гиперпластификатора STACHEMENT 2481.

П.4 и п.9 – составы из сухой смеси с добавлением гиперпластификатора Sika Viskocrete 25 RU.

П.5 и п.10 – составы из сухой смеси с добавлением гиперпластификатора STACHEMENT 2280.

Из результатов исследований видно, что в течение 7 суток растворные образцы партий 1 – 5 набирают прочность в пределах 75 - 90% от 28-суточной прочности, партий 6 – 10 – в пределах 86 – 99%. Все изученные суперпластификаторы увеличивают прочность цементного камня. Лучшие результаты показывает использование в качестве добавки в растворную смесь

гиперпластификатора STACHEMENT 2481 и Sika Viskocrete 25 RU. По сравнению с контрольными образцами растворные образцы, приготовленные с добавлением данных гиперпластификаторов, показывают прочность на 50,4% и 57,1% больше (при соотношении Ц : П = 1:3) и на 35,6% и 26,0% больше (при соотношении Ц:П = 1:2) соответственно.

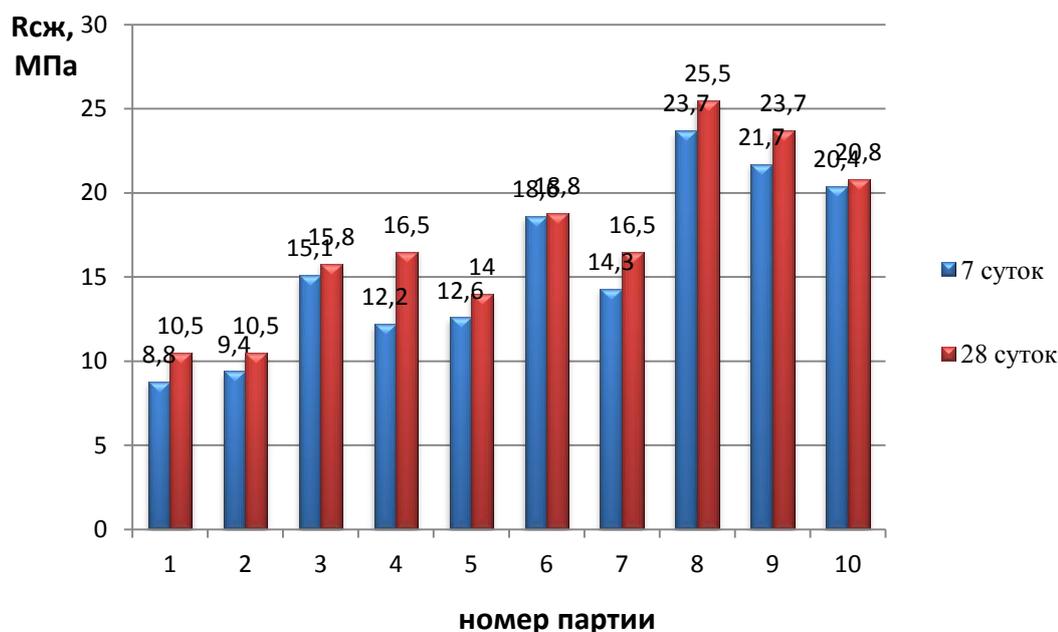


Рисунок 3.4 - Предел прочности образцов раствора на сжатие в зависимости от соотношения компонентов растворной смеси и вида суперпластификатора.

Сравнение расчетных значений критерия оценки эффективности суперпластификаторов с базовым показало, что все используемые в эксперименте суперпластификаторы обеспечивают снижение водопотребности растворной смеси на 20% и более. Критерий Z для растворных смесей состава Ц:П = 1:3 составляет более 1,363 и находится в пределах 1,363 – 1,640. Для растворных смесей состава Ц:П = 1:2 величина Z - в пределах 1,37 – 1,59. Наиболее эффективные результаты показывает использование гиперпластификатора STACHEMENT 2481.

Увеличение критерия Z способствует повышению прочности цементного камня. По нормам России значение критерия K (отношение приведенного значения предела прочности цементного камня в присутствии

суперпластификатора и без него) должно быть более 0,806. Все используемые в эксперименте пластифицирующие добавки не показали снижения прочности более чем на 5%. При этом критерий К показал результаты от 0,87 (суперпластификатор Cemmix CemPlast Plast) до 1,5 (гиперпластификатор STACHEMENT 2481). Таким образом, основные свойства цементного камня, изготовленного с применением местного песка Волжского месторождения, наиболее эффективно повышает гиперпластификатор STACHEMENT 2481 на основе поликарбоксилатов.

Суперпластификаторы оказывают влияние и на величину деформации и на кинетику усадки. Влияние суперпластификаторов на развитие усадочных деформаций проявляется в большей степени на ранних стадиях твердения. Деформации усадки цементного камня зависят от влажностного состояния, т.е. от изменения влажности образцов в следствие испарения свободной воды.

Изменении влажности образцов цементно-песчаного раствора в течение 60 суток представлена в табл. 3.4 и рис.3.5.

Таблица 3.4 - Влажность образцов, % по массе

Влажность образцов, % по массе в возрасте:	п.1	п.2	п.3	п.4	п.5
Ц : П = 1:3					
1 сутки	11,66	9,10	9,5	9,8	10,24
7 суток	7,00	5,50	5,5	5,6	6
14 суток	2,32	1,9	1,6	1,4	1,74
28 суток	1,75	1,7	1,4	1,3	1,54
40 суток	1,19	1,6	1,4	1,3	1,5
60 суток	1,19	1,6	1,4	1,3	1,5
Влажность образцов, % по массе в возрасте:	п.6	п.7	п.8	п.9	п.10

Продолжение таблицы 3.4

Ц : П = 1 : 2					
1 сутки	10,0	10,1	9,55	9,17	7,89
7 суток	7,25	7,5	6,82	6,10	5,5
14 суток	4,5	4,9	4,1	3,17	3,11
28 суток	2,31	2,6	2,0	1,76	1,75
40 суток	2,26	2,22	1,9	1,76	1,75
60 суток	2,24	2,2	1,9	1,72	1,75

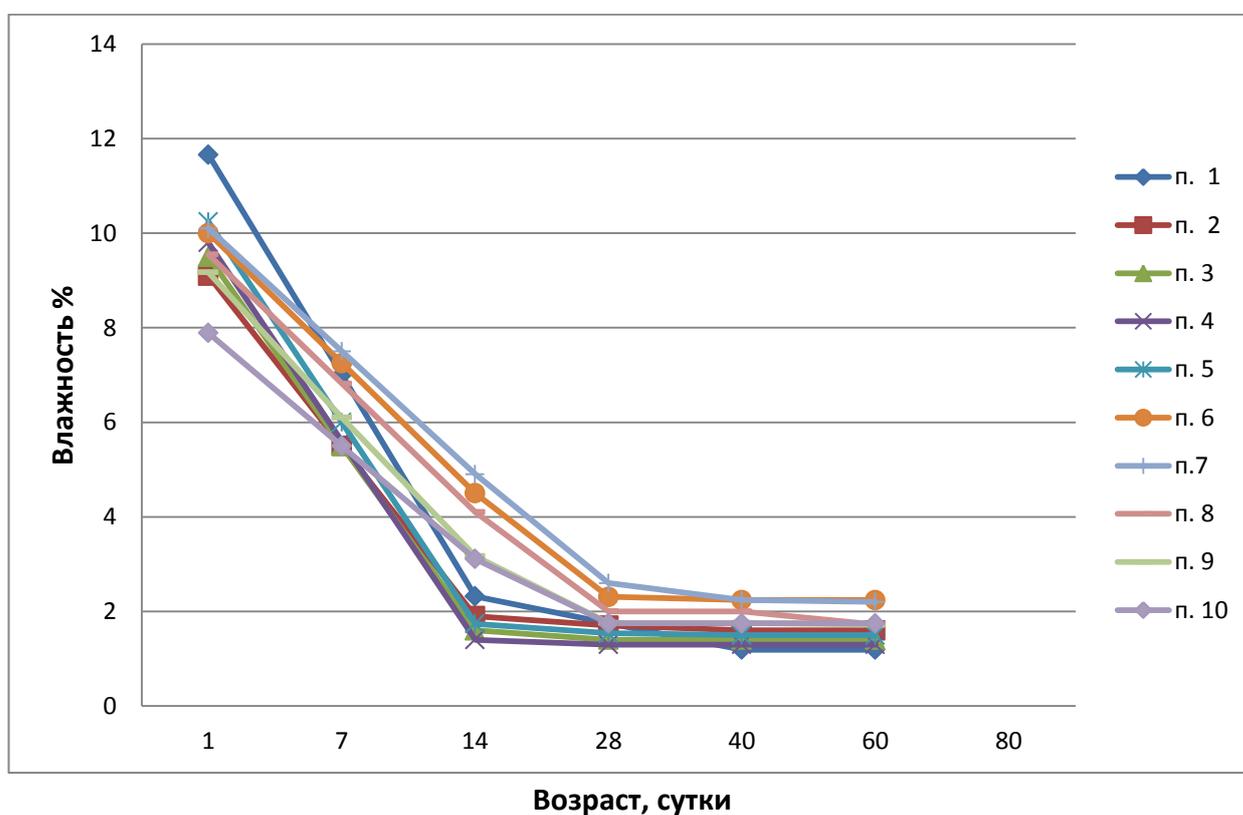


Рисунок 3.5 - Изменения влажности образцов цементно-песчаного раствора с течением времени

Данные исследований показывают, что влажность образцов цементного камня резко снижается в первые 14 суток на 80-83%, т.е. резкое обезвоживание

образцов наливного пола интенсивно происходит на ранней стадии твердения цементного камня.

Все суперпластификаторы негативно влияют на усадочные деформации цементного камня. На рис.3.6 и 3.7 приведены зависимости деформаций цементно-песчаных образцов в сочетании с различными суперпластификаторами.

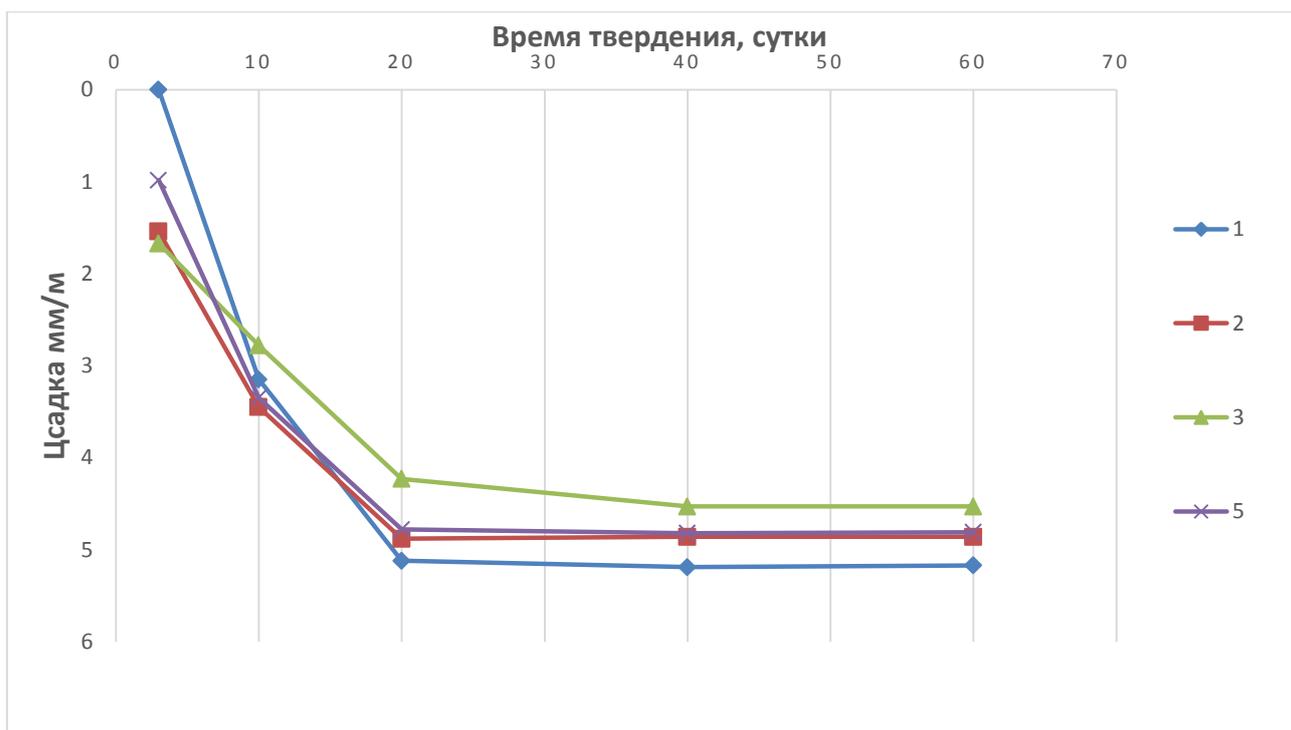


Рисунок 3.6– Усадочные деформации цементного камня в сочетании с суперпластификаторами

Как видно из рисунка 3.5 и 3.6, добавка суперпластификатора STACHEMENT 2481 немного понижает конечную величину усадочных деформаций цемента. Влияние суперпластификаторов на развитие усадочных деформаций проявляется в большей степени на ранних сроках твердения.

Исследования свидетельствуют о том, что деформация усадки цементного камня зависит от изменения влажности образцов цементно-песчаного раствора вследствие испарения свободной воды (рис. 3.4).

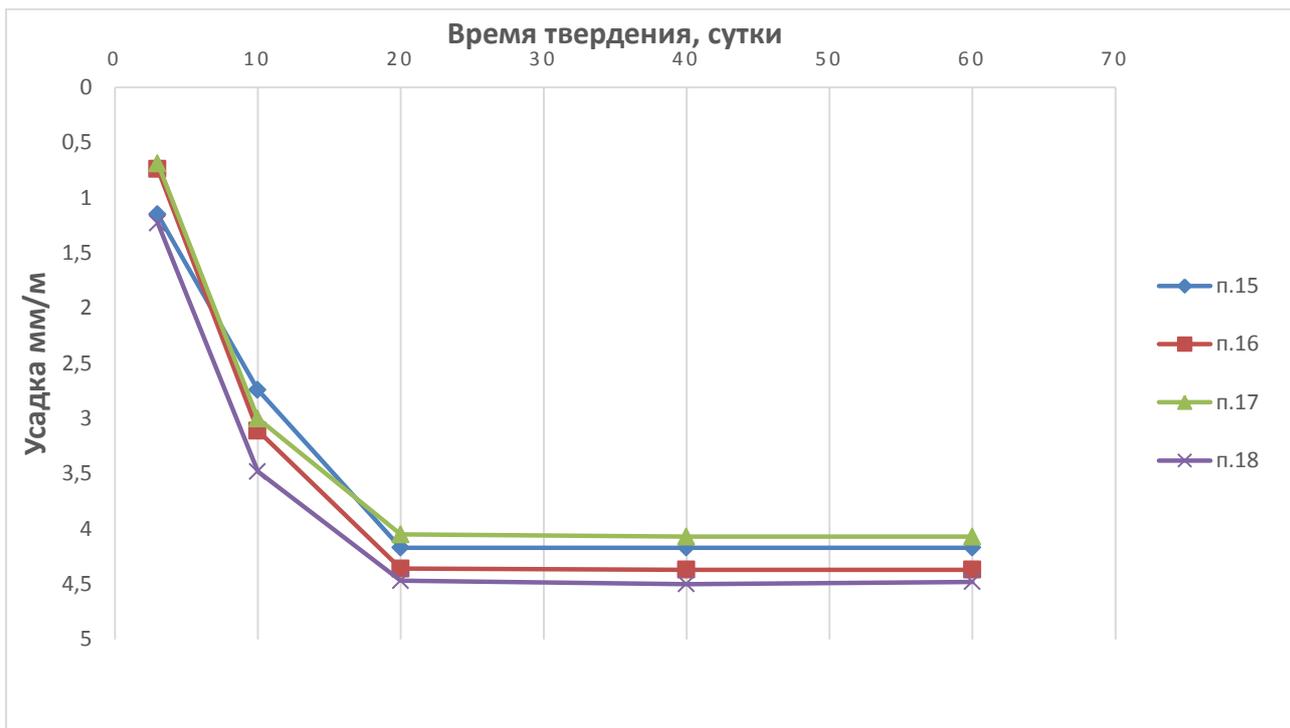


Рисунок 3.7– Усадочные деформации цементного камня в сочетании с суперпластификаторами

На основании исследования влияния различных суперпластификаторов отечественного и российско-импортного производства и оценки их эффективности применительно к отечественному цементу сделан вывод об эффективности каждого вида добавки (таблица 3.5).

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что STACHEMENT 2481 является наиболее эффективным в сочетании с отечественным цементом: он проявляет достаточную пластифицирующую способность, повышает прочность в большей степени, чем другие добавки, практически не влияет на развитие усадочных деформаций.

Таблица 3.5- Выводы об эффективности суперпластификаторов

Вид добавки	Влияние на В\Ц	Влияние на прочность	Влияние на деформации	примечание
Cemmix CemPlast Plast	Суперпластификатор	Незначительно снижает прочность	Немного понижает усадочные деформации	Зависит от состава смеси
STACHEMENT 2481	Гиперпластификатор	На 50% повышает прочность	Практически не влияет на развитие усадочных деформаций	Зависит от состава смеси
Sika Viskocrete 25 RU	Гиперпластификатор	Значительно повышает прочность	Практически не влияет на развитие усадочных деформаций	Зависит от состава смеси
STACHEMENT 2480	Гиперпластификатор	Незначительно повышает прочность	Немного понижает усадочные деформации	Зависит от состава смеси

С целью улучшения свойств смеси для наливного пола, были проведены эксперименты с применением в качестве наполнителя цемента – микрокремнезема. Составы смесей представлены в таблице 3.6, результаты испытаний на прочность бетонных образцов – в таблице 3.7 и рисунке 3.7. Изменение влажности образцов – в таблице 3.8 и рисунке 3.9.

Анализ результатов исследований показывает, что добавка микрокремнезема в качестве наполнителя композиционного вяжущего с использованием пуццолана и известняка не эффективна. Прочность образцов цементно-песчаного раствора с добавлением микрокремнезема падает на 20-40 %, по сравнению с прочностью образцов без добавления МК.

Таблица 3.6 - Составы смесей для наливных полов состава Ц:П = 1:3

	п.11	п.12	п.13	п.14
Цемент холсим В42,5 цем	366	373	381	381
Песок Волжский	1098	1119	1143	1143
Вода	403	373	381	381
Микрокремнезем МК	73 (20% от Ц)	75 (20% от Ц)	76 (20% от Ц)	77 (20% от Ц)
Cemmix CemPlast Plast	-	1% от Ц	-	-
STACHEMENT 2481	-	-	1% от Ц	-
Sika Viskocrete 25 RU	-	-	-	-
STACHEMENT 2280	-	-	-	1% от Ц
Средняя плотность смеси, кг/м ³	1941	1940	1980	1982
Распływ, диаметр мм.	180	180	190	190

Таблица 3.7 - Предел прочности на сжатие растворных образцов

Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте	п11	П12	П13	П14
7 суток	6,1	6,1	6,5	6,5
28 суток	8,2	6,2	9,2	8,4

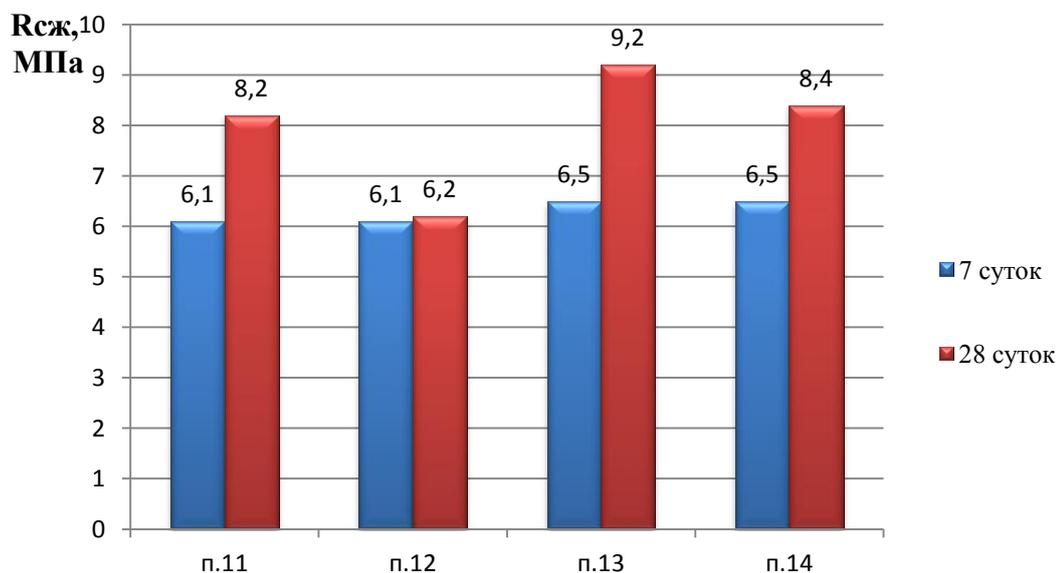


Рисунок 3.8 – Прочность образцов на сжатие

Таблица 3.8 - Влажность образцов, % по массе

Влажность образцов, % по массе в возрасте:	п.11	п.12	п.13	п.14
Ц : П = 1 : 2				
1 сутки	13,15	12,83	13,86	12,36
7 суток	7,48	7,28	7,9	6,98
14 суток	2,1	1,74	1,94	1,6
28 суток	1,87	1,79	1,97	1,67
40 суток	1,87	1,84	2	1,78
60 суток	1,81	2	2,3	1,9

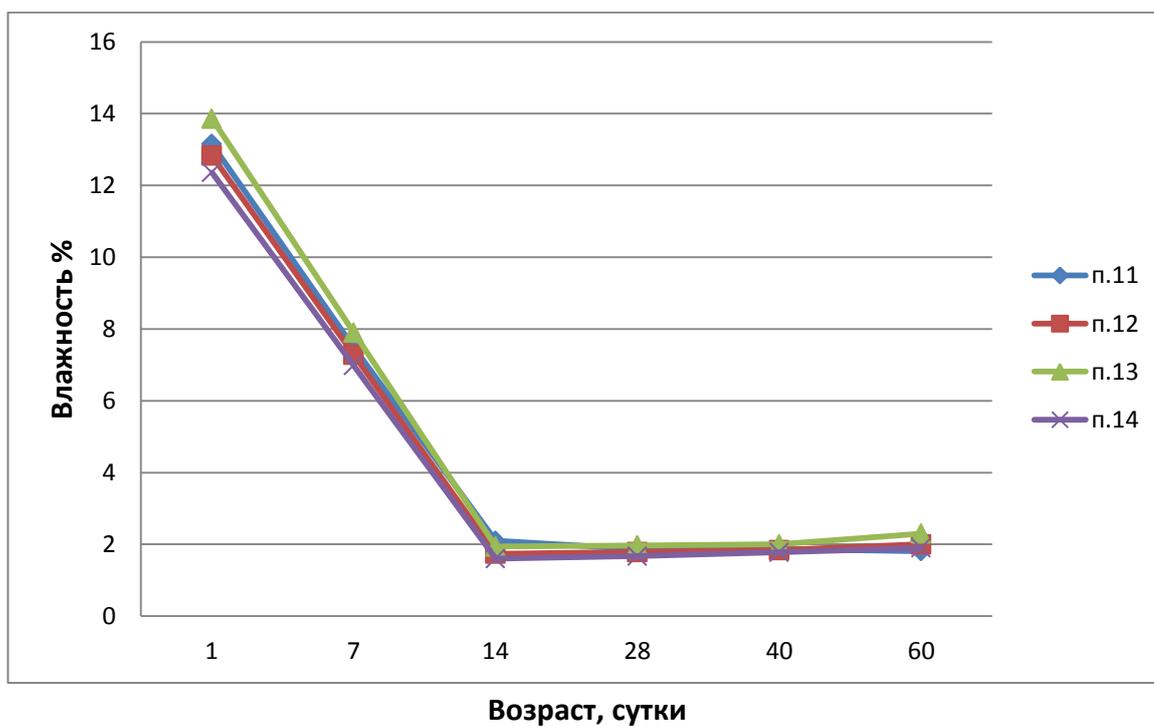


Рисунок 3.9– Изменения влажности образцов цементно-песчаного раствора с течением времени

Таблица 3.9 - Сравнение предела прочности растворных образцов с добавкой микрокремнезема

Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте	п.1	п.11	п.2	п.12	п.3	п.13
7 суток	9,1	6,1	9,4	6,1	15,3	6,5
28 суток	10,2	8,2	10,2	6,2	15,3	9,2

Для устройства наливных полов широко используются сухие смеси, одной из которых является сухая смесь под названием наливной пол «Толстый», которая используется для получения оснований и выравнивания бетонных перекрытий, имеющих неровности (перепады, уклоны) от 30 мм до 100 мм при строительстве и ремонте зданий с любой влажностью.

Технические характеристики наливного пола «Толстый».

Затвердевший раствор обладает высокой трещиностойкостью, безусадочностью и прочностью. Допускается хождение по залитому полу через 48 часов.

Толщина слоя 30-100 мм.

Прочность на сжатие через 28 суток, не менее 20 МПа.

Адгезия к бетонному основанию, не менее 1 МПа.

Жизнеспособность раствора, не менее 40 мин.

Возможность хождения по поверхности через 48 ч.

Растекаемость растворной смеси (по ГОСТ 31358-2007) Рк4.

Время полного набора прочности 28 сут.

Усадка через 28 суток не менее 0,15 %.

Проведены исследования сухой смеси «Толстый» и способ улучшения ее свойств добавлением в смесь при ее приготовлении пластифицирующих добавок.

Были использованы пластифицирующие добавки: суперпластификатор Plast, гиперпластификаторы STACHEMENT 2481 и Sika Viskocrete 25 RU.

Растекаемость растворяемых смесей, изготовленных из сухой смеси с добавлением пластифицирующих добавок (по ГОСТ 31358) принята в пределах 65 – 70см.

Водоцементное отношение контрольной смеси (без добавления пластификаторов) равно 0,3. С добавлением суперпластификатора Plast В/Ц снижается, но незначительно (до 0,29). Использование гиперпластификаторов STACHEMENT 2481 и Sika уменьшает водоцементное отношение до 0,26.

В процессе приготовления растворной смеси партии 17 из нее активно выходит воздух, но не так интенсивно, как в партии 18.

Для определения прочности на сжатие растворов из сухой смеси и пластифицирующих добавок были изготовлены образцы-кубы размером 70х70х70 мм. В качестве контрольных приняты растворные образцы, изготовленные из сухой смеси без добавления пластификаторов.

На предел прочности на сжатие образцы были испытаны в 7 и 28 суток твердения в сухих условиях, результаты испытаний приведены в таблице 3.10 и рисунке 3.10.

Таблица 3.10 - Предел прочности на сжатие растворных образцов

Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте	п.15	п.16	п.17	п.18
7 суток	18,8	19,2	21,8	21,6
28 суток	27,3	29,4	31,4	31,3

Принятые обозначения:

П.15 – контрольный состав, приготовленный из сухой смеси без добавления пластификаторов.

П.16 – состав из сухой смеси с добавлением суперпластификатора Plast.

П.17 – состав из сухой смеси с добавлением гиперпластификатора STACHEMENT 2481.

П.18 – состав из сухой смеси с добавлением гиперпластификатора Sika.

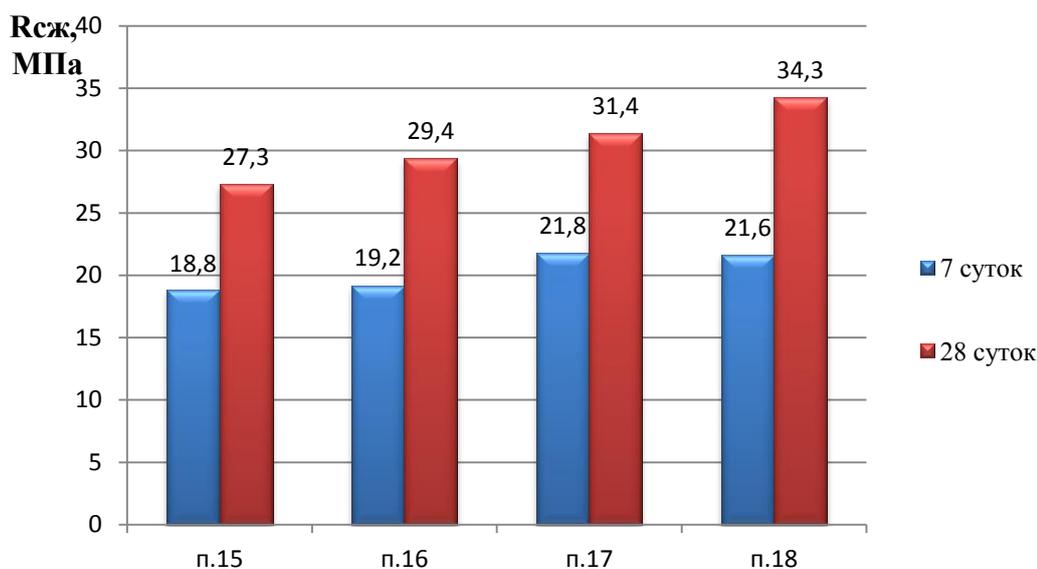


Рисунок 3.10 – Прочность образцов на сжатие

Из результатов исследований видно, что в течение 7 суток растворные образцы партий 15 – 16 набирают прочность в пределах 65 – 69% от 28-суточной прочности.

По сравнению с контрольными образцами растворные образцы, приготовленные с добавлением суперпластификатора Plast, имеют прочность на 2,1 и 7,7% больше в возрасте 7 и 28 суток, с добавлением гиперпластификатора STACHEMENT 2481 - на 15,9 и 15,0% и с добавлением гиперпластификатора Sika - на 14,9 и 14,7% соответственно.

Лучшие результаты показывает использование в качестве добавки в сухую смесь «Толстый» гиперпластификатора STACHEMENT 2481 и Sika.

Изменение влажности растворных образцов партий 15-18 приведены в таблице 3.11 и рисунке 3.11, усадочные деформации – на рисунке 3.12.

Таблица 3.11 - Влажность образцов, % по массе

Влажность образцов, % по массе, в возрасте:	п.15	п.16	п.17	п.18
Ц : П = 1 : 3				
1 сутки	23,4	23,47	22,0	21,75
7 суток	16,9	16,8	16,3	16,2
14 суток	10,2	10,1	10,55	10,64
28 суток	9,54	9,63	9,66	9,51
40 суток	9,63	9,6	9,6	9,39
60 суток	9,62	9,6	9,6	9,39

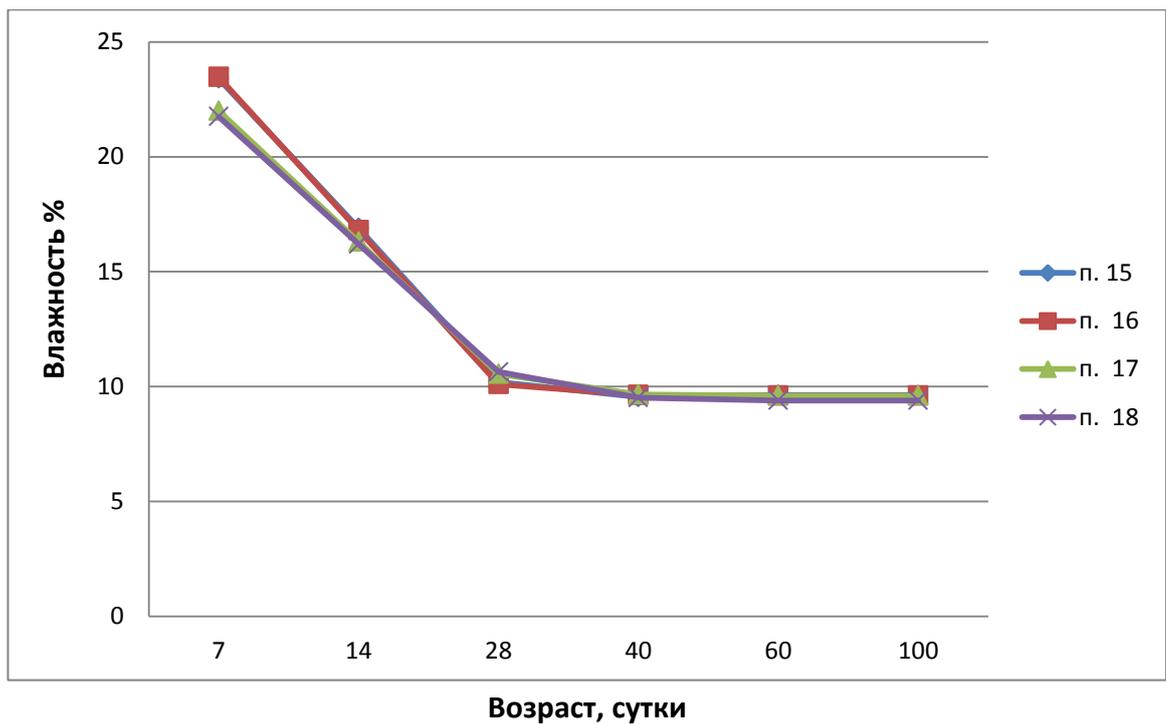


Рисунок 3.11 - Изменения влажности образцов цементно-песчаного раствора с течением времени

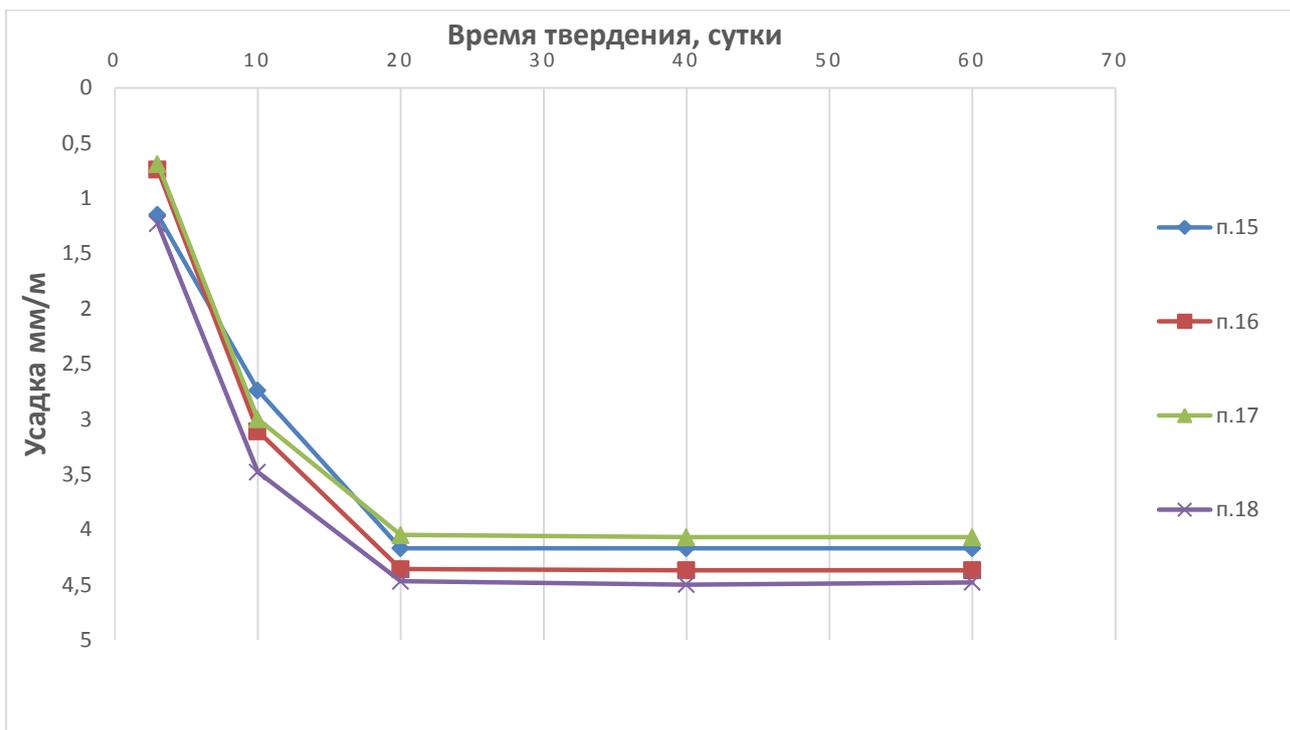


Рисунок 3.12 - Усадочные деформации цементного камня сухой смеси «Толстый» в сочетании с суперпластификатором

3.2. Влияние комплексной полимерцементной добавки на свойства цементного камня.

В полимерцементных композициях для наливных полов недостаточно лишь одной суперпластифицирующей добавки. Растворные смеси для наливных полов подвержены расслоению. Растворная смесь наливного пола наносится чаще всего на пористую поверхность, бетонную стяжку толщиной до 10 мм. При этом необходимо решить проблему водоудержания смеси, что решается применением добавок стабилизирующего действия. Одной из таких добавок является добавка на основе эфиров целлюлозы. Для того, чтобы обеспечить высокую адгезию раствора наливных полов к основанию, необходимо использовать редуцируемые полимерные порошки.

Таким образом, именно три добавки в совокупности обеспечивают основные технологические и технические свойства смеси наливных полов.

На основе партии 3 с использованием природного Волжского песка и гиперпластификатора STACHEMENT 2481 и указанных в таблице 3.12 добавок изготовлены бетонные смеси для наливного пола.

Таблица 3.12 - Технические характеристики полимерных добавок различного действия

Марка	Назначение	Химическая основа	Форма	Цвет	Рекомендованная дозировка
Bermokol 1 E230	стабилизатор	Этилогидроксидэт илцеллюлоза	порошок	белый	0,4...0,8
Vinnapas RE 523 Z	Редиспергируемый полимерный порошок	Сополимер винилацетата с этиленом	порошок	желтоватый	0,8...2,5
Карбонат лития	Ускоритель твердения	Li_2CO_3	порошок	белый	0,01...1

Пределы прочности образцов раствора, изготовленных с использованием данных полимерных добавок различного действия (партия 19), представлены на рисунке 3.13, усадочные деформации – на рисунке 3.13.

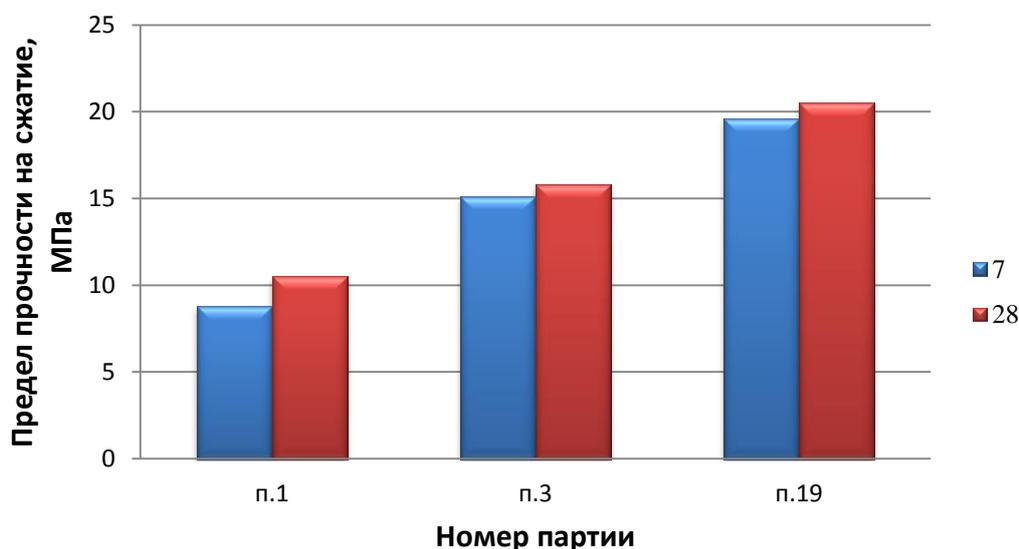


Рисунок 3.13 - Предел прочности образцов раствора в зависимости от компонентов растворной смеси партий № 1, 3, 19

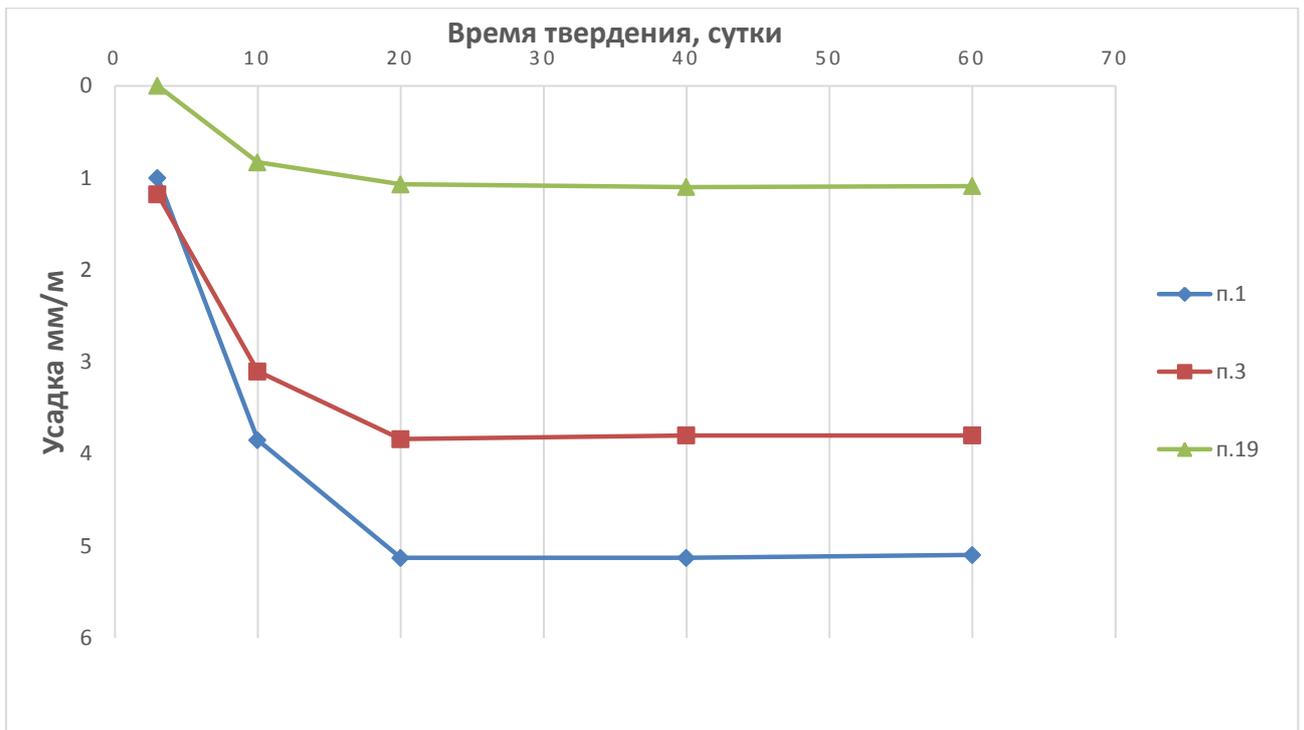


Рисунок 3.14 - Усадочные деформации

Выводы по третьему разделу

Разработан состав наливного пола на основе композиционного портландцемента ЦЕМ II/A-K(П-И) 42,5Н ГОСТ 31108-2016, природного песка Волжского месторождения, гиперпластификатора STACHEMENT 2481 и химических добавок (стабилизатора и ускорителя твердения) со следующими показателями качества:

- жизнеспособность смеси не менее 40 мин.;
- марочная прочность на сжатие в 28 суток не менее 20 Мпа;
- деформация усадки в 28 суток не более 1,0 мм/м.

Заключение

1. Развита научные представления о процессах структурообразования композиционного вяжущего для наливных полов и возможность управления формированием прочности и собственными деформациями путем использования минеральной составляющей вяжущего и суперпластифицирующих добавок.

2. Произведена оценка эффективности суперпластифицирующих добавок различной химической основы отечественного и российско-импортного производства по предложенным российскими учеными критериям эффективности, отражающими влияние суперпластификаторов на текучесть смеси для наливного пола, величину прочности с учетом снижения величины водоцементного отношения при введении СП.

3. Наиболее эффективным в сочетании с отечественным композиционным цементом является гиперпластификатор STACHEMENT 2481. Он проявляет достаточную пластифицирующую способность, повышает прочность в большей степени чем другие добавки практически, не влияет на развитие усадочных деформаций. Разработан состав наливного пола на основе композиционного портландцемента ЦЕМ II/A-K(П-И) 42,5Н ГОСТ 31108-2016, природного песка

4. Разработан состав бетонной смеси для наливного пола на основе композиционного портландцемента ЦЕМ II/A-K(П-И) 42,5Н ГОСТ 31108-2016, природного песка Волжского месторождения, гиперпластификатора STACHEMENT 2481 и химических добавок (стабилизатора и ускорителя твердения) со следующими показателями качества:

- жизнеспособность смеси не менее 40 мин.;
- марочная прочность на сжатие в 28 суток не менее 20 Мпа;
- деформация усадки в 28 суток не более 1,0 мм/м.

Список используемых источников

1. Ангизов В.А. Устройство полов.М.:Стройиздат,1986.-255с.
2. Баженов Ю.М.Технологии бетона.-М.:Стройиздат,2002.-500 с.
3. Баженов Ю.М.,Калашников В.И.,Демьянова В.С. Концентрационно-водоредуцирующая чувствительность цементов к суперпластификаторам //Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции:Компазиционные строительные материалы. Теория и практика.- Пенза,2002-с.13-19
4. Батраков В.Г.Комплексные модификаторы свойства бетона //Бетон и железобетон.-1977№7.-С40-42
5. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны.Теория и практика.2-е изд.,перераб. И дополн. М., 1998, 768 с.
6. Безбородов В.А., Белан В.И., Мешков П.И., Нерадовский Е.Г., Петухов С.А. Сухие смеси в современном строительстве. Под редакцией д.т.н. В.И.Белана. – Новосибирск: 1998
7. Бийтц Р., Линденау Х. Химические добавки для улучшения качества строительных растворов // Строительные материалы 1999, №3
8. Василик П.Г., Голубев И.В. Особенности применения поликарбоксилатных гиперпластификаторов Melflux // Строительные материалы 2003, №9.
9. Голеновская В.А. Устройство наливных полов с применением сухих строительных смесей // Строительные материалы 2003, №4
10. Горчаков Г. И. Строительные материалы : учебник / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. - Москва :Стройиздат, 1986. - 686, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 672. - Предм. указ.: с. 673-677.
11. ГОСТ 8.207-76 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения»
12. ГОСТ 22685-89 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона»

13. ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия»
14. ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности.
15. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
16. ГОСТ 24544-81 «Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести»
17. ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия»
18. ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования»
19. ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний»
20. ГОСТ 27006-2019 «Бетоны. Правила подбора состава»
21. ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия»
22. Демьянова В.С. Влияние вида цемента на формирование ранней суточной прочности высокопрочного бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2001. №4. С.52
23. Демьянова В.С., Калашников В.И.,Ильина И.Е. Сравнительная оценка влияния отечественных и зарубежных суперпластификаторов на свойства цементных композиций // Строительные материалы.2002.№9
24. Звездов А.И., Мартиросян Г.М. Бетоны с компенсированной усадкой // Бетон и железобетон.-1995.№3-С.2-4
25. Зозуля П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей.//Доклады конференции BaLtimix – 2003
26. Иванов Ф.М.,Рулева В.В. Высокоподвижные бетонные смеси // Бетон и железобетон.- 1976 №8.- С. 40-42
27. Калашников В.И., Демьянова В.С., Селиванова Е.Ю., Мишин А.С., Кандауров А.П. Усадка и усадочная трещиностойкость цементного камня из

пластифицированных и непластифицированных композиций // Современные проблемы строительного материаловедения: Седьмые академические чтения РААСН.-ч.1.-Белгород, 2001.- С. 171-179

28. Кардумян Г.С., Батудаева А.В. Получение высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей. // Бетоны и железобетон в третьем тысячелетии. Материалы международной научно-практической конференции. - Ростов-на-Дону, 2004. – С.239-247

29. Козлов В.В. Сухие строительные смеси. М.: Стройиздат, 2000

30. Корнеев В.И. Сухие строительные смеси: первое приближение // Газета «Технологии и бизнес на рынке ССС», С. – Петербург, 2004

31. Корнеев В.И. Ускорители и замедлители схватывания и твердения цементных сухих строительных смесей. // Доклады конференции BaLtimix – 2003

32. Кудряков А.И., Аниканова Л.А., Копаница Н.О. и др. Влияние зернового состава и вида наполнителей на свойства строительных растворов // Строительные материалы 2000. №11.С.28

33. Кузнецова Т.В. Структура и свойства расширяющихся и напрягающих цементов // Сборник докладов Всевоюзной конференции в г. Грозном: Ресурсосберегающие технологии железобетонных конструкций на основе напрягающих цементов. – М.: Стройиздат, 1989.-С. 8-9

34. Лебедев А.О., Сидоренко И.Л., Посысаев Т.В. Напрягающие цементы и сухие смеси на их основе // Бетон и железобетон. – 2001. - №4 – С.30-33

35. Ложкин В.П. «Современные суперпластификаторы и разжижители для бетона (специализированный производственно-практический справочник)» - международный журнал прикладных и фундаментальных исследований - Калининград 2013- №11 (часть 1)

36. Мешков П.И., Мокин В.А. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей // Строительные материалы. – 200. - №5 С. 12-14

37. Налимова А.В. Влияние комплексной добавки на собственные деформации цементного камня // Строительство – 2003. Материалы межд. конф. – Ростов – на Дону: РГСУ, 2003. – С.22
38. Налимова А.В. Влияние суперпластификаторов на морозостойкость цементного камня // Строительство – 2003. Материалы межд.конф. – Ростов –на –Дону: РГСУ, 2003. – С.20-21
39. Налимова А.В. Состав и свойства быстротвердеющего наливного пола. // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии: Межкафедральный сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону: Рост. Гос.строит. ун-т, 2005. – С. 44-48
40. Налимова А.В. Полимерцементные композиции с компенсированной усадкой для наливных полов. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Г.В.Несветаев. – Ростов-на-Дону 2006 – С
41. Несветаева Г.В., Виноградова Е.В. Оценка эффективности новых суперпластификаторов в сочетании с Российскими цементами // Строительство – 2003. Материалы межд. конф. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2003. – С.10-11
42. Несветаева Г.В., Налимова А.В. Оценка эффективности суперпластификаторов применительно к отечественным цементам // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы 2-й межд.конф. – Ростов-на-Дону, 2002. – С.269-274
43. Несветаев Г.В., Тимонов С.А. О механизме раннего трещинообразования бетона // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Межд.науч.конф. – Ростов-на-Дону: РГСУ, ЮРОРААСН, 2000. – С.266-270
44. Несветаев Г.В., Тимонов С.А. Усадочные деформации и раннее трещинообразование бетона // Современные проблемы строительного материаловедения: Пятые академические чтения. – Воронеж, 1999. С.312-316
45. Несветаев Г.В., Тимонов С.А., Чмель Г.В. К оценке эффективности суперпластификаторов // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2001.- С.29-32

46. Паненко А.И., Несветаев Г.В. Сухие смеси в России: особенности производства и применения // Строительные материалы. - №5, 2002
47. Пиценко Я.А., Печеный Б.Г., Лукьяненко В.В. Влияние пластификаторов и суперпластификаторов на свойства сухих строительных смесей // «Строительство – 2005»: Материалы Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Рост.гос.строит.Ун-т, 2005.-202 с.
48. Пустовгар А.П. Модифицирующие добавки для сухих строительных смесей. // Строитель 2002, №4, С.8-10
49. Путилова М.Н. СТМ-1703а магистерская диссертация на тему: «Исследование и оптимизация состава мелкозернистого бетона», ТГУ АСИ 2019
50. Рунова Р.Ф., Носовский Ю.Л. Особенности применения минеральных вяжущих в сухих строительных смесях // Сборник докладов 2-й Международной научно-технической конференции. Современные технологии сухих смесей в строительстве – С.-Петербург, 2000
51. СП 29.13330.2011 «Полы»
52. ТУ 5745-001-46561502-05 «Смеси сухие строительные»
53. Франк. О. Исследование усадочных свойств глиноземистых цементов. Опыты по оптимизации усадки // Сборник докладов 6-й Международной научно-технической конференции Современные технологии сухих смесей в строительстве – С.Петербург, 2004
54. Хозин В.Г., Морозов Н.М., Мугинов Х.Г. Особенности формирования структуры модифицированных песчаных бетонов // Строительные материалы, 2010, №9. – С. 72-7
55. Чмель Г.В. Модифицирование расширяющихся вяжущих веществ с целью управления собственными деформациями и прочностью бетонов // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – Ростов-на-Дону-2004
56. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. – Тбилиси: Менцниереба,1979. С.230

57. Ing.LeifHolmberg.Подбор состава сухих смесей для устройства полов //сборник статей “Mix Build”. 2001.- С.61-71
58. Nakamura, S.,Methyl Cellulose as Mortar Admixture (Part 2) (in Japanese), Building Engineering (Kenchiku – Gijutsu), (149):85-91 (1963)
59. Runova R..F.,Nosovsky Y.L. Hydration prjcesses in multicomponent binders/Pr. 14 ibausil,Weimar,2000
60. Shibasaki,T.,Properies of Masonry Cement Modified with Water-Soluble Polymers (in Japanese), Sement-Gijusu-Nempo 1964
61. Specification and Guidelines for Compacting Concrete, EFNARC, February 2002
62. Tompson C.W. Requirements for concrete in floors.-Concr.Beton.,1979,№ 13
63. Приложение А Технические требования изготовления наливных полов

Приложение А

Технические требования изготовления наливных полов

Сухие напольные смеси должны изготавливаться по технологической документации, установленной предприятием-изготовителем. Свойства сухих напольных смесей характеризуются показателями качества сухих смесей, растворных смесей и растворов. Требуемые показатели качества назначаются в зависимости от назначения смеси и области ее применения.

Основными показателями качества сухих смесей являются:

- влажность;
- полный остаток на контрольном сите;
- насыпная плотность.

Основными показателями качества растворных смесей являются:

- подвижность по расплыву кольца;
- время начала схватывания;
- выход растворной смеси из 1 кг сухой смеси.

Основными показателями качества растворов являются:

- предел прочности на растяжение при изгибе;
- предел прочности при сжатии;
- прочность сцепления (адгезия) с основанием;
- деформация усадки/расширения;
- истираемость (для финишных покрытий);
- время пешеходного движения;
- стойкость к ударным воздействиям (для финишных покрытий);
- морозостойкость (для наружного применения и неотопливаемых помещений);
- плотность раствора.

Сухие напольные смеси подразделяют на типы по следующим классификационным признакам:

Продолжение приложения А.

- по назначению;
- по способу укладки;
- по плотности раствора;
- по скорости твердения;
- по интенсивности воздействия нагрузок;
- по условиям применения.

По назначению напольные смеси подразделяют на следующие классы: -

- для устройства базовых толстослойных стяжек;
- для устройства выравнивающих слоев (прослоек) под покрытие;
- для устройства финишных (износостойких) покрытий.

По способу укладки напольные смеси подразделяют на выравниваемые (ровнители), самовыравнивающиеся (наливные).

По плотности раствора напольные смеси подразделяют на легкие напольные смеси и напольные смеси нормальной плотности.

По скорости твердения напольные смеси подразделяют на нормально- и быстротвердеющие. ГОСТ 31358—2019.

По интенсивности воздействия нагрузок напольные смеси подразделяются в соответствии с нормативными документами государств, принявших стандарт.

По условиям применения:

- для наружных работ;
- для внутренних работ.

Условное обозначение напольных смесей должно состоять из наименования смеси в соответствии с ГОСТ 31189, наименования классификационных признаков, значений основных показателей качества.

«В зависимости от подвижности напольные смеси подразделяют на марки Рк1, Рк2, Рк3, Рк4, Рк5, Рк6, Рк7 в соответствии с ГОСТ 31358-2019.

Время начала схватывания растворных напольных смесей должно соответствовать заявленному производителем значению» [21].