

первую очередь определяется здесь требованиями второй группы предельных состояний. Так, для рассмотренного выше в качестве примера 18-этажного здания, армирование ненапрягаемой арматурой класса А-III, согласно данных расчета, достигает 9.11%. Уменьшение процента армирования этих ригелей за счет применения высокопрочной арматуры класса А-IV, А-V [7] приводит к тому, что уже при монтажной нагрузке неизбежно образование трещин с раскрытием более 0.25 мм. В стадии же эксплуатации расчетная ширина раскрытия трещин в наиболее напряженных приопорных зонах ригелей достигает еще больших значений. Более того, трещины здесь неконтролируемы из-за недоступности этих участков под выравнивающим слоем и полом.

Если же провести оценку остаточного ресурса по напряжениям в сжатой зоне ригеля от полной эксплуатационной нагрузки и ширине кратковременного раскрытия трещин от этой нагрузки по одной из существующих в настоящее время методик, то приходим к следующему. При расчетной ширине раскрытия трещин $a_{ср} = 0,30$ мм величина остаточного ресурса составит $H_{сер} = 1,422$ бит. Из этого следует, что рассматриваемая конструкция уже на стадии начала эксплуатации попадает в ряд конструкций, требующих усиления.

Приведенный анализ напряженно-деформированного состояния конструктивного решения диска сборно-монолитного перекрытия позволяет сделать следующие выводы.

1. Предложенный вариант сборно-монолитного перекрытия имеет существенные конструктивные недоработки при рассмотрении его в качестве диска перекрытия, опертого на точечные опоры. Так, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, должна быть разработана методика расчета и конструирования сборных плит этого перекрытия на восприятие всех основных усилий, действующих в плитах с учетом условий их сопряжения и опирания. Соответственно, необходимо разработать альбом технических решений и рабочих чертежей этих плит с указанием условий опирания при заводских испытаниях, а также контрольных значений параметров жесткости, трещиностойкости и прочности в соответствии с требованиями ГОСТ 8829. Ссылки же на многопустотные плиты типовых серий некорректны, поскольку совершенно очевидно, что эти конструкции разработаны для других схем нагружения и граничных условий и, соответственно, имеют другие схемы испытаний и значения контрольных параметров прочности, жесткости и трещиностойкости.

2. Поскольку рассмотренное конструктивное решение противоречит по ряду важнейших показателей требованиям действующих норм (армирование ригелей и плит, анкеровка сборных плит, прочность шпоночного сопряжения плит с несущими ригелями и др.), то в соответствии с действующим порядком введения в хозяйственный оборот градостроительной и проектной документации, новых конструктивных разработок, в том числе ввозимых из-за рубежа (постановление

Правительства РФ №1008 от 27.12.2000) необходимо проведение полномасштабной государственной экспертизы этой разработки и освидетельствование технического состояния уже построенных на территории Российской Федерации зданий рассмотренного типа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия Б1.020.1-7. Сборно-монолитная каркасная система МВБ-01 с плоскими перекрытиями для зданий различного назначения: БелНИИС.-Мн.: Минсктиппроект. 1999.
2. Алявдин П.В., Мордич А.И., Симбиркин В.Н. Пространственный расчет сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий с плоскими перекрытиями.// Компьютерное моделирование и проектирование пространственных конструкций. Тезисы докладов научной сессии 18-20 декабря 2001 г. М.: МОО «Пространственные конструкции», 2001.-с. 21-22.
3. Белевич В.Н. Прочность и деформативность многопустотных плит в составе сборно-монолитного диска перекрытия// Сб. тр. Международной научно-практической конференции «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии».- Ростов-на-Дону: РГСУ, 2000.-с.72-80.
4. Залесов А.С., Чистяков Е.А. Расчет и конструирование монолитных каркасов с плоскими перекрытиями.// Ресурсосберегающие конструктивно-технологические решения зданий и сооружений: Сб. докл. Междунар. конф. «Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений».- Белгород: Изд. БелГТАСМ, 1997. ч. 6-7.-с.8-12.
5. ENV 1992-1-1: Eurocod 2: Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and Rules for Buildings. European Prestandard. June 1992.
6. Александров А.В., Карпенко Н.И., Травуш В.И., Долоткин Д.Б., Жуков К.А. Особенности напряженно-деформированного состояния оболочечно-стержневого каркаса современного высотного здания.// Известия вузов. Строительство.-1998.-№3.-с.132-137.
7. Мордич А.И., Вигдорчик Р.И., Белевич В.Н. Многоэтажные здания по серии Б1.020.1-7 со сборно-монолитными каркасами и плоскими перекрытиями из многопустотных плит.// В сб. «Современные архитектурно-конструктивные системы зданий и сооружений, новые строительные материалы и технологии».- Минск: НПО «Стринко», 2000.-с.3-22.
8. Мордич А.И., Белевич В.Н. Работа многопустотных плит в составе сборно-монолитного диска перекрытия каркаса МВБ-01.// Будівельні конструкції, № 50.- Киев: 1999.-с.177-183.
9. Тур В.В., Кондратчик А.А. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил. Монография. Брест.: изд. БГТУ, 2000.- 400 с.

УДК 666.972

Кардунян Г.С., Батудаева А.В.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ БЕТОНЫ ИЗ САМОВЫРАВНИВАЮЩИХСЯ СМЕСЕЙ

По общепринятой терминологии [1] под самовыравнивающимися подразумеваются смеси, способные укладываться в опалубку без вибрации и равномерно распределяться во всем ее объеме даже при наличии густорасположенной арматуры при сохранении однородности. Определяющим свойством

таких смесей является их удобоукладываемость, не требующая принудительного уплотнения. В свою очередь, удобоукладываемость – это комплексное свойство, являющееся результирующим двух противоположных по своей природе свойств свежеприготовленной массы [2]:

Кардунян Галина Суменовна, к.т.н., доцент каф. технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Батудаева А.В., аспирант Научно-исследовательского института бетона и железобетона, г. Москва, РФ.

- подвижности (или текучести), степень которой условно оценивается по распылу конуса, и косвенно характеризует сопротивление сдвигу (τ) данной системы;
- сегрегационной устойчивости, зависящей от пластической вязкости системы (η).

Подвижность цементных систем одного и того же состава, в основном, зависит, как известно, от количества свободной воды. Причем цементные системы различного состава при одинаковой подвижности могут характеризоваться разной водопотребностью, а их сегрегационная устойчивость будет зависеть от водоудерживающей способности системы.

Для получения текучей и нерасслаивающейся консистенции, бетонная смесь должна иметь минимальную водопотребность при заданной подвижности и максимальную водоудерживающую способность, предотвращающую расслоение смеси, как при транспортировании к месту укладки, так и при самой укладке. Обозначенная выше задача решается с помощью добавок-модификаторов и рационального подбора состава бетонной смеси.

В данной работе производился выбор оптимальных добавок-модификаторов, затем на их основе подбирался состав самовыравнивающейся бетонной смеси, и осуществлялась ее оценка по специальным методикам [1, 3, 4]. Критериями выбора добавок являлись, с одной стороны, снижение водопотребности смеси, с другой - повышение водоудерживающей способности.

Проблема снижения водопотребности смеси решается путем введения суперпластификаторов (СП), действие которых объясняется иммобилизацией связанной во флоклах твердых частиц воды и изменением свойств поверхности частиц. В зависимости от вида СП и механизма его действия меняются и свойства поверхности. Так СП на основе сульфированных нафталин- и меламинформальдегидных поликонденсатов, в механизме действия которых преобладает электростатический эффект, адсорбируясь на поверхности цементных частиц изменяют величину дзета-потенциала [5]. При использовании СП на основе поликарбоксилатов и полиакрилатов на поверхности цементных частиц образуется адсорбционная оболочка, которая в основном благодаря стерическому эффекту предотвращает слипание частиц и способствует их взаимному отталкиванию. Сравнительная оценка суперпластификаторов С-3 и Marefluid, различных по составу и механизму действия, показала, что для достижения равной подвижности бетонных смесей эффективность Marefluid почти в 3 раза выше С-3 [6].

Для повышения водоудерживающей способности бетонной смеси, как правило, вводят водоудерживающие добавки, которые по механизму связывания свободной воды делятся на два вида:

- а) нерастворимые в воде высокодисперсные наполнители (микронаполнители [МН]), которые благодаря высокой удельной поверхности сорбируют воду, физически (адсорбционно) связывая ее;
- б) водорастворимые полимеры, повышающие вязкость свободной воды в цементной системе.

К первым относятся естественные и искусственные материалы, например, молотые горные породы (известняк, доломит, кварцевый песок и др.), а также шлаки, золы-уноса, микрокремнезем и т.п., которые вводятся в цементную систему в количествах обычно превышающих 10 % массы цемента.

Ко вторым относятся материалы на основе модифицированной целлюлозы и крахмала или на основе полиэтиленгликоля и биополимеров [4], которые вводятся в количестве менее 1% массы цемента.

В технологии самовыравнивающихся смесей микронаполнители не только выполняют роль водоудерживающих компонентов, но позволяют значительно снизить расход цемента, следовательно, уменьшить вероятность усадки и трещинообразования. Как правило, используются как пуццолановоактивные МН, содержащие аморфный кремнезем, так и инертные.

Поскольку цель нашей работы – получение высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей, главным объ-

ектом исследований были активные МН способные влиять на структуру цементного камня. В качестве инертного наполнителя в своих исследованиях мы выбрали молотый известняк.

Для экспериментов были использованы следующие материалы:

- микрокремнезем конденсированный – отход производства ферросплавов Челябинского электрометаллургического комбината соответствующий ТУ 5743-048-02495332. (Условное обозначение «МК»);
- кислая зола-уноса Рефтинской ГРЭС – продукт сгорания угля Экибастузского месторождения по ГОСТ 25818. (Условное обозначение «З-У»);
- сажа белая – тонкодисперсный осажденный диоксид кремния по ГОСТ 18307 Производство Республика Башкирия. (Условное обозначение «БС»);
- каолин Глуховецкого месторождения, подвергнутый термической обработке, обозначенный термином «метакаолин» соответствующий ТУ УВ.2.7-16403272.005 (Условное обозначение «МКЛН»);
- смесь золы-уноса и микрокремнезема (50:50), которая является основой модификатора типа МБ 50С. (Условное обозначение «З-У+МК»);
- известняк молотый по ГОСТ 16557 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия». (Условное обозначение «ИЗВ-к»);
- портландцемент ПЦ500 Д0 ОАО «Осколцемент», соответствующий ГОСТ 10178 и ГОСТ 30515;
- суперпластификатор С-3, на основе сульфированных нафталинформальдегидных поликонденсатов, соответствующий ГОСТ 24211;
- песок природный кварцевый (Мкр = 2,6), соответствующий ГОСТ 8736;
- щебень гранитный фракционированный: 5-10 мм и 10-20 мм, карьера «Гранит-Кузнецкий», соответствующий ГОСТ 8267.

Физико-механические свойства микронаполнителей представлены в таблице 1.

Для сравнения водоудерживающей способности МН и химических добавок в качестве последних по результатам предварительных испытаний на водоотделение и прочность среди ряда эфиров целлюлозы была выбрана Накарбоксиметилцеллюлоза (КМЦ).

Как правило, с введением МН в цементную систему, водопотребность последней значительно увеличивается. Поэтому в данной работе для качественной оценки МН мы выбрали три параметра: водопотребность, водоудерживающая способность и индекс активности. То есть из условия получения самовыравнивающейся и нерасслаивающейся консистенции бетонной смеси, оптимальным может считаться МН, имеющий минимально возможную водопотребность и максимальную водоудерживающую способность. А с точки зрения достижения бетоном высокой прочности, лучшим признается МН, имеющий индекс активности больше единицы.

Водопотребность и водоудерживающую способность оценивали на цементных пастах, индекс активности - на растворах состава 1:3. В каждом виде испытаний 10 % цемента заменяли на МН, полученные результаты сравнивали с результатами контрольного состава без МН.

Водопотребность МН оценивали на цементных пастах одинаковой консистенции, которая определялась на приборе Вика по методике ГОСТ 370.3. При этом количество воды, необходимое для получения требуемой консистенции было различным и зависело от сорбционной способности материала и его удельной поверхности. Разницу между количеством воды (мл) в контрольном составе и количеством воды состава с МН, отнесенную к количеству МН (г), приняли за водопотребность, считая при этом, что этот «излишек» воды удерживается поверхностью и порами МН.

Водоудерживающую способность МН оценивали по методике ГОСТ 310.6.

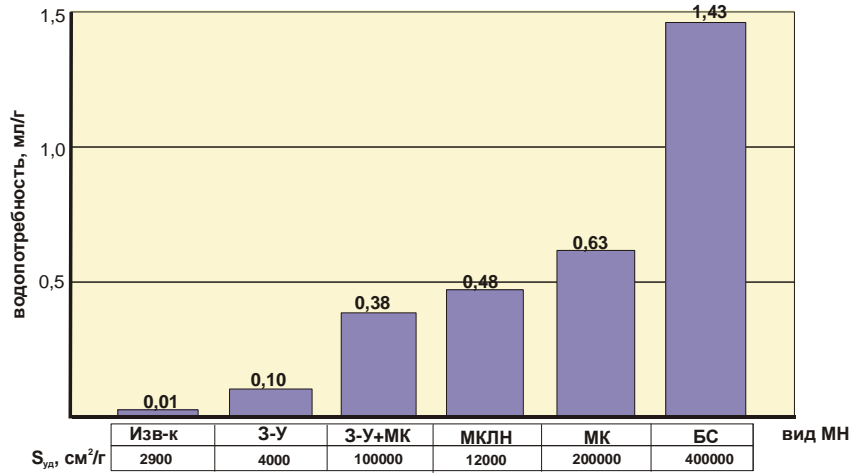


Рис.1. Влияние микронаполнителей на водопотребность цементных паст

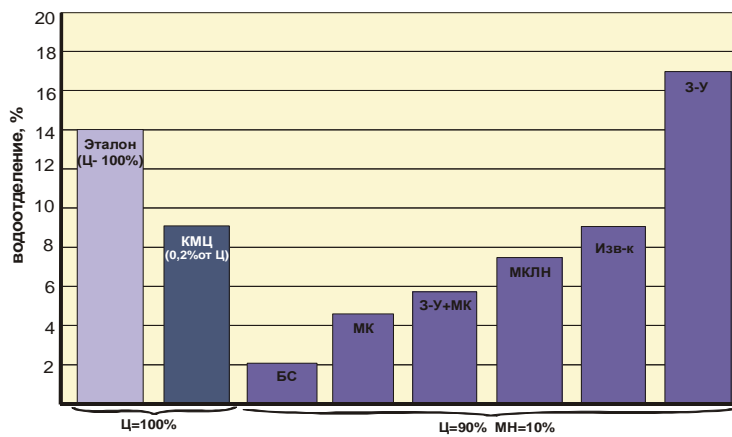


Рис.2. Влияние различных микронаполнителей на водоотделение цементных паст

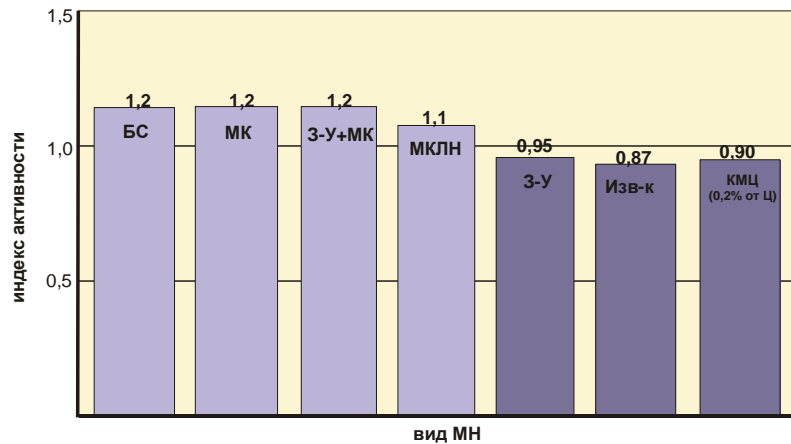


Рис.3. Индекс активности различных микронаполнителей

Таблица 1. Физико-механические свойства микронаполнителей

Материал	Свойства				
	Плотность, г/см ³	Удельная поверхность, см ² /г	Средний диаметр частиц, мкм	Форма частиц	Содержание основного компонента, %
Микрокремнезем	2,2	200 000	0,14	сферич.	SiO ₂ - 89
Зола-уноса	2,2	3 000	76	сферич.	SiO ₂ - 57
Метакаолин	2,63	12 000	1,92	пластинчатая	SiO ₂ - 55 Al ₂ O ₃ - 40
Сажа белая	2,0	400 000	-	-	SiO ₂ - 88
Известняк молотый	2,6	2 900	95	-	CaCO ₃ - 93

Результаты, представленные на рис. 1 и рис. 2, показывают, что для таких материалов как микрокремнезем и белая сажа, определяющим фактором в увеличении водопотребности и водоудерживающей способности системы является их удельная поверхность, которая на два порядка выше удельной поверхности цемента, что предопределяет активность этих материалов на границе раздела фаз: их сорбционную и водоудерживающую способность. К ним примыкает метакаолин, также отличающийся высокой сорбционной и водоудерживающей способностью, т.к. это глинистый минерал, способный набухать в воде.

При введении золы-уноса водопотребность системы увеличивается, но водоудерживающая способность падает. Увеличение водопотребности можно объяснить присутствием в золе несторевого угля, а снижение водоудерживающей способности объясняется, вероятно, тем, что частицы золы, имеющие сферическую форму и небольшую удельную поверхность раздвинули частицы цемента, "открыв", таким образом, пути для миграции воды. Очевидно, что при смешивании золы-уноса с микрокремнеземом в соотношении по массе 50:50 водопотребность системы увеличивается, но при этом, благодаря оптимизации гранулометрического состава системы значительно снижается водоотделение. Как видно из рисунков 1 и 2 инертный наполнитель - известняк имеет хорошую водоудерживающую способность и при этом практически не влияет на водопотребность системы.

Сравнивая водоудерживающую способность микронаполнителей и эфиров целлюлозы, можно сказать, что последние не уступают молотому известняку, но менее эффективны, чем другие МН.

Дальнейшие исследования на растворных смесях состава по массе 1:3 позволили выявить влияние микронаполнителей на свойства затвердевшего бетона. Из растворных смесей с В/Ц = 0,45 были изготовлены образцы-кубы 7x7x7 см, которые затем испытывали на прочность при сжатии в различные сроки твердения (1, 3, 7, 14, 28 суток). Отношение прочности бетонов составов с МН к прочности контрольного состава названо нами индексом активности согласно [7]. Индексы активности исследуемых МН представлены на рисунке 3.

Замена 10 % цемента на активные МН, такие как микрокремнезем, белая сажа, метакаолин и смесь микрокремнезема и золы-уноса позволяет повысить прочность бетона на 10 – 20 % , введение только золы-уноса, известняка и КМЦ приводит к незначительному снижению прочности бетона. Поэтому для получения высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей мы выбрали два активных МН: метакаолин и композицию золы-уноса и микрокремнезема, которые наряду с небольшой водопотребностью и наилучшей водоудерживающей способностью положительно влияют на прочность бетона. В качестве дополнительного компонента самовыравнивающихся смесей был выбран инертный наполнитель - молотый известняк, который позволяет повысить водоудерживающую способность, не увеличивая водопотребности системы.

На следующем этапе работы на основе выбранных компонентов нами были выполнены подбор составов бетонов и оценка их технологических и прочностных свойств.

На рисунке 4 наглядно показаны принципиальные отличия соотношений компонентов в обычных и самовыравнивающихся бетонных смесях. Для придания текучести в самовыравнивающихся смесях увеличена доля вяжущего, в состав которого входит цемент и МН, само вяжущее следует подбирать таким образом, чтобы обеспечить непрерывную гранулометрию [3]. Сохранив расход воды на уровне обычных бетонов за счет увеличения дозировки СП, повышается вязкость смеси, которая обеспечивает связность и нерасслаиваемость. Чтобы предотвратить блокировку заполнителя при прохождении смеси сквозь арматурную сетку и снизить трение между зернами крупного заполнителя сокращается расход щебня и ограничивается его максимальный размер (20 мм). Кроме того, в составе самого заполнителя преобладает доля мелкой

фракции (5-10 мм). Для того, чтобы смесь была однородной, необходимо при проектировании состава бетона соблюдать непрерывную гранулометрию всех компонентов смеси от вяжущего до крупного заполнителя [8].

С учетом вышеизложенных подходов к проектированию самовыравнивающихся смесей, были подобраны несколько составов. Гранулометрический состав твердых компонентов подобранных бетонных смесей приведен на рисунке 5, из которого следует, что условия их равномерного распределения соблюдены.

Составы и свойства подобранных самовыравнивающихся смесей представлены в таблице 2.

Самовыравнивание оценивали по расплыву конуса Абрамса, который должен быть в пределах от 65 до 85 см, вероятность блокировки заполнителя - по методике [1]: конус Абрамса ставили внутрь кольца ($d = 30$ см) со стержнями, которые имитировали арматурную сетку (рис.6). После снятия конуса замеряли разницу высот (Δh) непосредственно у стержней внутри кольца и снаружи, которая позволила оценить способность смеси проходить сквозь арматурную сетку. Эта разница не должна превышать 10 мм. Как видно из таблицы 2, подобранные нами составы бетонов по критерию расплыва и Δh , могут быть отнесены к самовыравнивающимся смесям. Признаков расслоения бетонной смеси - концентрации щебня в центре лепешки и преобладания растворной части на периферии не наблюдали.

Испытания образцов-кубов 10x10x10 см на предел прочности при сжатии показали, что полученные бетоны можно отнести к высокопрочным бетонам.

Выводы

Исследованные активные микронаполнители: метакаолин, зола-уноса, микрокремнезем, могут применяться для получения высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей.

Подобранные по соответствующим критериям составы бетонов с использованием исследованных микронаполнителей по основным параметрам (расплыв, способность проходить сквозь арматурную сетку) могут быть отнесены к самовыравнивающимся смесям.

По показателю предела прочности при сжатии (60-70 МПа) полученные бетоны могут быть отнесены к высокопрочным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Specification & Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, February 2002
2. Попов Н.А. О влиянии гидрофобизирующих добавок на свойства строительных растворов и неудобокладываемых бетонов. Труды совещания по технологии бетонов. Ереван 1956 г.
3. Khayat K.H. "Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete," ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, May-June 1999, pp346-353
4. Okamura H. and Ouchi M. "Self-Compacting Concrete," Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.1, No. 1, 5-15, April 2003
5. Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива. // Бетон и железобетон. - 1999. - № 6. - с. 6-10.
6. Батудаева А.В. Перспективы получения высокопрочных бетонов из самовыравнивающихся смесей. Конференция творческой молодежи «Новые идеи развития бетона и железобетонных конструкций: доклады и труды молодых специалистов». Москва, 2002г
7. ТУ 5743-048-02495332-96 «Микрокремнезем конденсированный»
8. Nielsson I. and Wallevik O. H. "Mix Design of High Strength Self-Compacting Concrete and Practical Application," Proceedings of 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Reykjavik, Iceland.

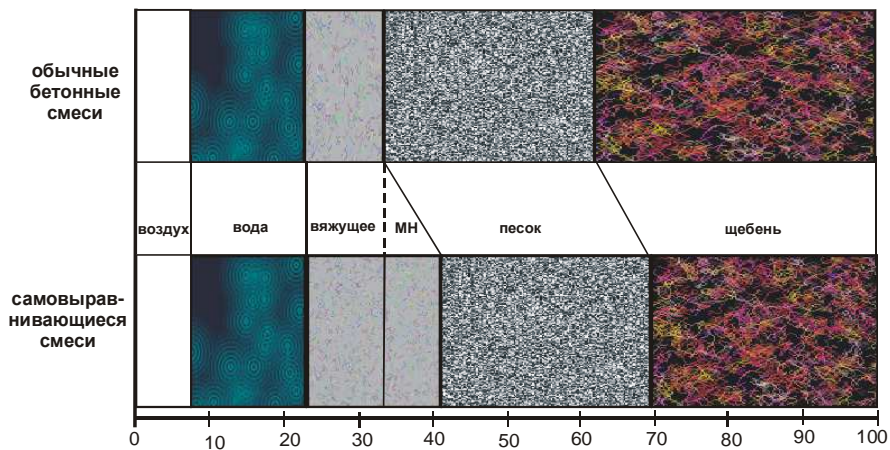


Рис.4. Соотношение компонентов в смеси, % [4]

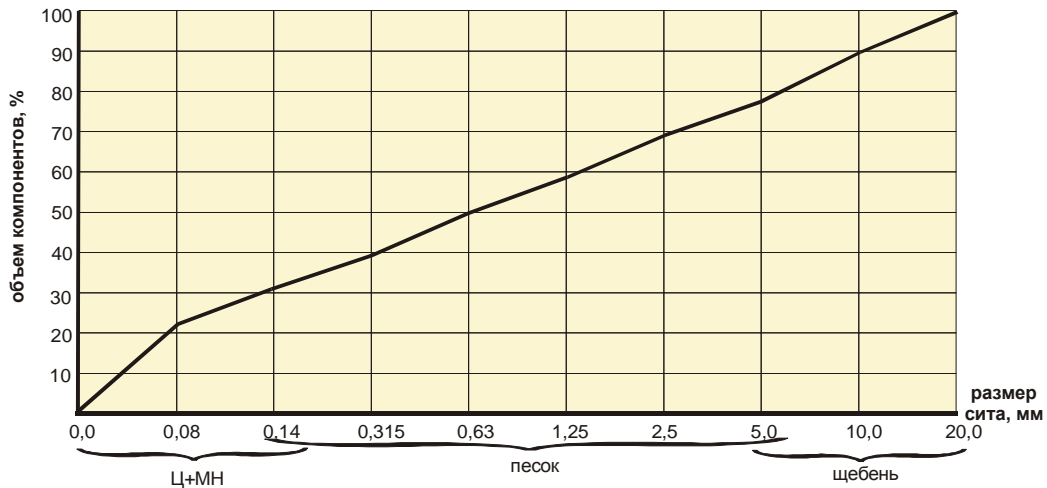


Рис.5. Гранулометрический состав бетонной смеси

Таблица 2. Составы и свойства самовыравнивающихся бетонных смесей и бетонов

№	Состав, кг/м ³						Распływ конуса, см	Δh, мм	γ, кг/м ³	R ₂₈ , МПа
	Цемент	МБ *	Изв-к	Песок	Щебень	Вода				
1	357	75	184	769	769	187	68	8	2342	63,0
2	312	76	235	782	782	184	65	10	2372	70,0
3	313	63	251	787	787	189	70	8	2391	63,0

* Были приготовлены три типа модификаторов, содержащих СП, а также МК, З-У, МКЛН в различных соотношениях

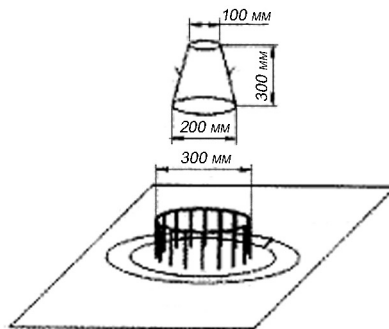


Рис. 6.