

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2022 Issue: 02 Volume: 106

Published: 13.02.2022 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Vasily Ilich Solomatov

not provided

Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia

Alisher Urokovich Mamajonov

Fergana Polytechnic Institute

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Fergana, Uzbekistan

Elmurod Muxammadyakubovich Yunusaliev

Fergana Polytechnic Institute

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Fergana, Uzbekistan

Latifjon Muxsinovich Qosimov

Fergana Polytechnic Institute

Master's Degree Student, Fergana, Uzbekistan

THE FORMATION OF CONCRETE MACROSTRUCTURE

Abstract: In concrete at the macro level, technological defects appear under the influence of aggregates, and control the nature of concrete cracking by regulating the adhesive-cohesive bond forces along the interfaces between the matrix material and fillers, the number and methods of placing the latter, as well as the ratio of the rate of structure formation of the matrix and the kinetics of deformation processes in it.

Key words: concrete macrostructure, volumetric deformation, water-cement ratio, cracking, filler, shrinkage, adhesion, physical and technical properties.

Language: Russian

Citation: Solomatov, V. I., Mamajonov, A. U., Yunusaliev, E. M., & Qosimov, L. M. (2022). The formation of concrete macrostructure. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 02 (106), 170-178.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-02-106-19> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2022.02.106.19>

Scopus ASCC: 2200.

ФОРМИРОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ БЕТОНА

Аннотация: В бетоне на макроуровне технологические дефекты появляются под влиянием заполнителей, и управляют характером трещинообразования бетонов путем регулирования адгезионно-когезионных сил связи по границам раздела матричного материала и заполнителей, количества и способов укладки последних, а также соотношением скорости структурообразования матрицы и кинетикой протекания в ней деформационных процессов.

Ключевые слова: макроструктура бетона, объемная деформация, водоцементное отношение, трещинообразования, заполнитель, наполнитель, усадка, адгезия, физико-технические свойства.

Введение

УДК-691.328

При анализе механизма формирования структуры бетона на уровне "растворная часть - заполнитель" введены следующие допущения:

– растворная часть представляет собой непрерывную среду, в которой объемные деформационные процессы протекают одновременно;

– объемные деформации проявляются на границах раздела растворной части (внутренних и внешних по отношению к бетону);

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

– объемные деформации растворной части пропорциональны ее объему (между объемом материала и его деформациями существует линейная зависимость);

– твердеющая растворная часть претерпевает постепенный переход из пластичного в пластично-упругое и упругое состояние (характерно для твердеющих материалов на неорганическом и органическом вяжущем, высыхающих дисперсных систем, затвердевание расплавов).

Учитывая эти особенности формирования структуры бетона применение дисперсных минеральных наполнителей для бетона диктуется теоретическими предпосылками и практической необходимостью. Использование дисперсных наполнителей в составе вяжущего создает условие более глубокой гидратации цемента, что и обеспечить улучшение микроструктуры и свойств бетона. Существенное повышение эффективности применения дисперсных минеральных веществ может быть обеспечено при комплексном использовании наполнителей и пластифицирующих химических добавок.

Теоретические основы формирования макроструктуры бетона

Анализ деформационных явлений принято проводить на моделях структурных ячеек бетона [1-3]. Мы использовали в качестве матричного материала цементные композиции с различными

водоцементными отношениями и с наполнителями разных дисперсности и объемного содержания; глина с различными водоглиняными отношениями; технический парафин; полиэфирная и эпоксидная смолы. Контролировали величину и направление усадочных деформаций твердеющего матричного материала на границе с заполнителями; формирование общего деформативно-напряженного состояния на оптически чувствительных материалах методами фотоупругости; кинетику и характер трещинообразования. Применяли специальные наполнители-датчики для определения деформаций и металлические в виде шайб заданного размера. Рассматривали модели с единичными заполнителями, а также с группой (рис. 1.).

Анализ проводили для моделей с толщиной растворного кольца шириной больше 0,1 радиуса наполнителей. Усадка матричного материала в модели с единичным включением приводит к развитию σ_B на границе его раздела с наполнителем, которые переходят в σ_C на наружной поверхности раздела (рис. 1. а.). Под действием радиальных напряжений появляются трещины сцепления, что ведет к увеличению внутренней поверхности раздела. Радиальные трещины возникают под действием σ_B .

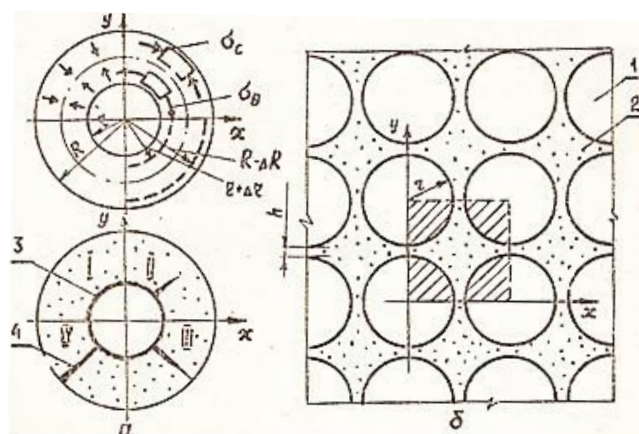


Рис. 1. Геометрические параметры моделей структурных ячеек бетонов с единичным (а) и группой (б) наполнителей: 1 - наполнители; 2 - матричный материал; 3 - трещины на границе матричного материала с наполнителями; 4 - радиальные трещины; r - радиус наполнителей; h - расстояние между наполнителями, выраженное в долях их радиуса; σ_B - окружные напряжения растяжения; σ_C - окружные напряжения сжатия; 5 - нейтральная линия.

Деформации усадки матричного материала проявляются на берегах возникших трещин, что вызывает их развитие по периметру кольца растворной части [4,5,6,7,11]. Под действием σ_C увеличивается ширина раскрытия трещины. Полученные результаты трудно перенести на бетоны, так как в них как в матричных

осесимметричных композиционных материалах структура образуется под влиянием рядом расположенных наполнителей (рис. 1. б).

Анализ формирования деформативно-напряженного состояния при твердении бетонов, подтвержденный экспериментальными данными, позволил выделить три характерных случая

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

взаимодействия матричного материала с заполнителями.

1. Адгезия растворной части к заполнителю R_A выше ее когезионной прочности R_K . Такой случай возможен при специальной обработке заполнителей, инициирующей фронт затвердевания от внутренних поверхностей

раздела в периферийные зоны матричного материала. Под действием радиальных напряжений растяжения (σ_r в матричном материале возникают радиальные трещины (рис.2).

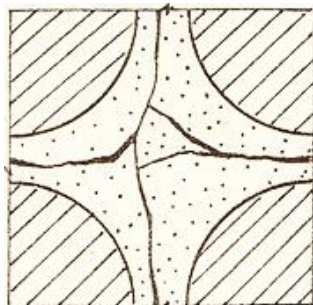


Рис. 2. Характер трещинообразования матричного материала при $R_A > R_K$.

Радиальные трещины могут объединяться при своем развитии и разделять бетон на отдельные структурные блоки, в которых трудно реализовать потенциальные возможности заполнителей при воздействии на бетон внешних напряжений.

2. Адгезионная и когезионная прочности равны. Исследования показали сложное распределение деформаций, напряжений и трещин в матричном материале (рис. 3.).

Трещины зарождаются и развиваются как на периферийных участках растворной части, так и на границах раздела с заполнителями в местах перехода от совершенной адгезии к ослабленной.

Прогнозировать процесс трещинообразования матричного материала при его избирательной адгезии к поверхностям заполнителей трудно, что не позволяет достаточно надежно конструировать материалы с заданными физико-техническими свойствами.

Адгезия растворной части к заполнителю ниже ее когезионной прочности. Такая ситуация возможна в реальных материалах, поскольку в начальный период твердения деформации усадки стремятся вызвать увеличение поверхности раздела матричного материала с заполнителями (см. рис. 3. а).

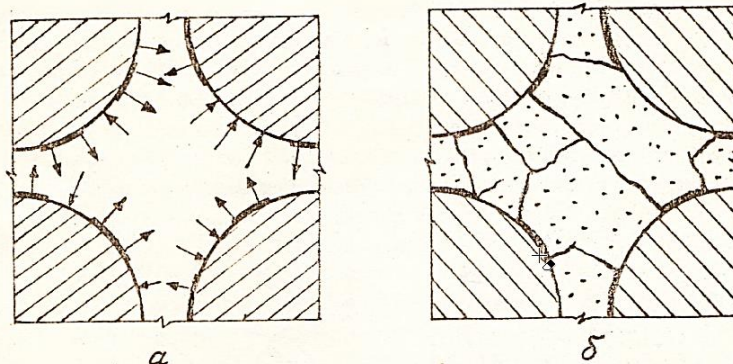


Рис. 3. Распределение усадочных деформаций (а) и трещинообразование (б) матричного материала при $R_A = R_K$.

Геометрические параметры макроструктуры бетона вызывают появление градиентов усадочных деформаций по величине $\Delta \epsilon$ и направлению $\Delta \varphi$ (рис. 4.).

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

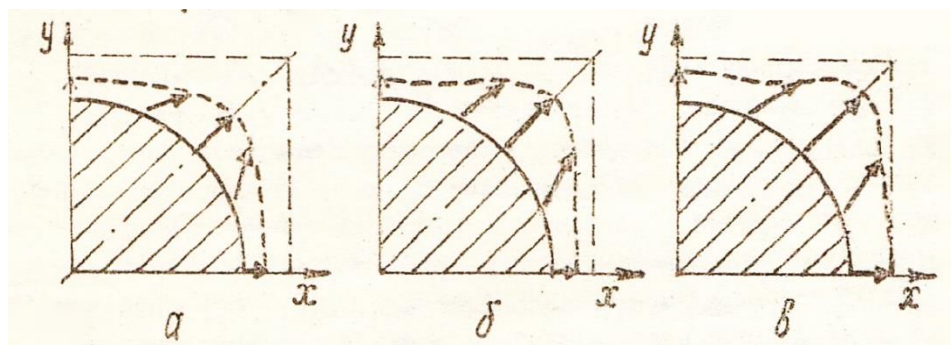


Рис. 4. Эпюры усадочных деформаций твердеющего матричного материала при расстоянии между заполнителями: а - 0,2 r; б - 0,4 r; в - 0,6 r.

Возникшие градиенты величине $\Delta\epsilon$ и $\Delta\varphi$ в твердеющей матрице приводят к формоизменению матричного материала на границе раздела с заполнителями (экспериментально подтверждено на цементном тесте, глине, парафине, канифоле, желатине, полиэфирной и эпоксидной смолах). На искривленных поверхностях раздела возникают разнонаправленные усадочные деформации, что локализует критические пластические деформации в пластичной среде и напряжения сдвига σ_c , в упругой среде. Под действием концентрированных деформаций или напряжений

возможно нарушение целостности матричного материала и появление зародышевой трещины. Если матричный материал способен выдержать возникшие деформации и напряжения, все последующие деформации усадки проявляются на искривленных поверхностях раздела, что ведет к очередному перераспределению эпюр деформаций. Это вызывает перемещение зон максимального искривления поверхности раздела и миграцию опасных концентрированных пластических деформаций или напряжений сдвига (рис. 5).

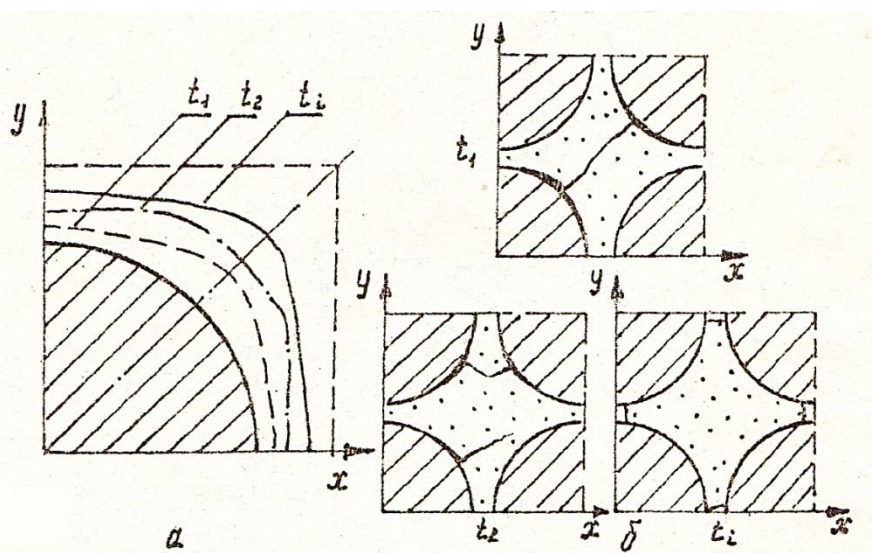


Рис. 5. Кинетика формоизменения матричного материала (а) и изменение характера его трещинообразования (б) при $h = 0,4 r$.

Опыты показали, что управлять процессом трещинообразования можно, меняя расстояние между заполнителями r , регулируя кинетику структурообразования матричного материала и скорость протекания в нем деформационных процессов. По нашему мнению, в случае $F_A < F_K$ появляется возможность целенаправленно управлять структурообразованием бетонов на макроуровне. Начальная адгезия растворной части к заполнителям снижается путем модификации

его поверхности химически активными веществами. Например, обработка поверхности керамзитового гравия гидрофобными поверхностно-активными веществами позволяет пластифицировать бетонную смесь, улучшать физико-технические свойства керамзитобетона и повышать его стойкость в условиях многократного увлажнения и высушивания [8-10].

Пути упрочнения макроструктуры бетоне

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
ISI (Dubai, UAE) = 1.582
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 3.939
ESJI (KZ) = 9.035
SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Комплексное применение добавки АЦФ-3М и наполнителей из глиежа и электротермофосфорного шлака обеспечивает значительную экономию цемента с одновременным улучшением технологических, технических и эксплуатационных свойств бетона. Установлено, что при рациональной дисперсности 0,15 м²/г наполнителей и 0,15% добавки АЦФ-3М экономия цемента в смешанном вяжущем составляет 35-40%. При этом прочность наполненного цементного камня сопоставима с прочностью обычного портландцемента марки 400. Рассмотрим подробнее влияние наполнителей глиежа и электротермофосфорного шлака на свойства бетона.

Вклад грубодисперсных наполнителей в изменение прочности бетона определяется крупностью частиц, адсорбционной активностью их по отношению к воде и АЦФ смолам. Если снижение водопотребности в обычных бетонных смесях при условии их одинаковой удобоукладываемости приводит к повышению прочности бетона, то при использовании грубодисперсных наполнителей эта общеизвестная закономерность нарушается. В результате структурообразующего действия до некоторого предельного содержания наполнителя и снижения соответственно водопотребности за счет уменьшения величины общей поверхности контакта прочность бетона возрастает. На рост прочности бетона при этом существенное влияние оказывает добавка АЦФ-3М. Дальнейшее увеличение количества наполнителя, несмотря на снижение водопотребности и упрочняющее действие добавки АЦФ-3М, вследствие разбавляющего эффекта и уменьшения активной клинкерной части цемента приводит к снижению прочности бетона.

Изложенное подтверждается на примере бетонной смеси удобоукладываемостью 2, 6, 10 и 20 см, полученной на стандартных заполнителях портландцемента марки 400 и грубодисперсных наполнителей - глиежа и шлака. Изменение прочности бетона носит экстремальный характер с наибольшими показателями при 25% ном содержании наполнителей и $\sqrt{f} = 0,33$.

На величину относительного прироста прочности бетона с минеральным наполнителем благоприятное влияние оказывает водосодержание бетонной смеси. Чем больше количество воды в исходном составе бетонной смеси, тем выше прирост прочности. Это, вероятно, можно объяснить тем, что при замене активной клинкерной части цемента минеральными наполнителями создаются условия для большей гидратации вяжущего и в результате в цементном камне остается меньше непрореагировавших частиц вяжущего. С другой стороны, наличие большого количества воды в

бетоне обеспечивает благоприятные условия для твердения смешанного вяжущего во влажной среде. Так, если прирост прочности бетона с глиежем (шлаком) при расходах вяжущего 290, 370 и 450 кг/м³ и Ц/Щ = 0,5 и подвижности бетонной смеси 2 см соответственно составляет 15-45 (15-35%), то для литого бетона прирост составляет 50-80 (40-55%). При увеличении количества наполнителей до 50% и $\sqrt{f} = 0,33$ прочность бетона с добавкой 0,15% АЦФ-3М, полученного из бетонных смесей с подвижностью 2-20 см и расходом вяжущего 290- 450 кг/м³ достигает показателей эталонного бетона.

Наибольшее распространение глиежпортландцемент и шлакопортландцемент с электротермофосфорным шлаком получили для строительства гидротехнических сооружений. Пуццолановый портландцемент с 30% глиежа в бетоне твердеет медленнее, чем рядовой портландцемент и в 28-ми суточном возрасте приобретает 80-85% прочности от марочной. Это же относится и к шлакопортландцементу. Поэтому для бетона гидротехнического назначения марочный возраст удлинён до 180 сут. Таким образом, длительное нарастание прочности - характерная особенность бетона на пуццолановых и шлакопортландцементных. Величина прироста прочности бетона тем выше, чем меньше прочность бетона в 28-ми суточном возрасте, а бетон на пуццолановом портландцементе по мере снижения расхода вяжущего имеет более высокий прирост прочности в течение длительного времени [10].

Прирост прочности бетона с грубодисперсными наполнителями и добавкой АЦФ-3М зависит от количества глиежа и шлака, а также от водосодержания бетонной смеси. Относительный прирост прочности бетона с 25% содержанием наполнителя существенно выше, чем у обычного пуццоланового цемента. Кроме того, прирост прочности бетона с 25% наполнителя значительно выше через 3 мес. твердения, в сравнении с тем же показателем бетона на заводском пуццолановом цементе. Как и следовало ожидать, прирост прочности бетона с наполнителями тем выше, чем больше водосодержание бетонной смеси (табл.1).

Пуццолановый Портландцемент с 25-27% глиежа, наряду с использованием в гидротехническом строительстве, рекомендуется и для изготовления изделий и конструкций надземных частей зданий и сооружений. В связи с этим следует подчеркнуть, что грубодисперсные наполнители в сочетании с добавкой АЦФ-3М в еще большей мере способствуют повышению атмосферостойкости бетона. Бетон на портландцементе с минеральными наполнителями характеризуется хорошей атмосферостойкостью и монотонным нарастанием прочности при

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317
 ISI (Dubai, UAE) = 1.582
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 3.939
 ESJI (KZ) = 9.035
 SJIF (Morocco) = 7.184

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

твердении на воздухе. Так, если за 12 мес. бетон на рядовом портландцементе, в сравнении с 1 мес., имеет прирост прочности 53-57%, то бетоны на портландцементе с 25% глиежа (шлака) характеризуются приростом соответственно 66-75 (57-64), 68-77 (58-65%).

Укрупнение частиц наполнителя и применение добавки АЦФ-3М положительно влияет на прирост прочности бетона как во влажных, так и в естественных атмосферных условиях, что расширяет области применения наполненного бетона. Для производства сборных железобетонных изделий шлакопортландцементы эффективны наравне с рядовым портландцементом, а пуццолановые рекомендуется использовать для изделий и конструкций, к которым предъявляются

повышенные требования водо и солестойкости. [10].

При стандартных режимах тепловлажностной обработки изделий прочность пропаренного бетона зависит от вида, количества наполнителя и расхода смешанного вяжущего. При 25% наполнении бетона с 0,15% добавки АЦФ-3М после пропаривания набирает 80-93% проектной прочности. Увеличение количества наполнителей до 40- 45% приводит к получению прочности наполненного бетона после пропаривания в размере 70-75%. Таким образом, бетон с грубодисперсными наполнителями - глиежем и шлаком в сочетании с добавкой АЦФ-5М эффективно использовать для изготовления сборных железобетонных изделий.

Таблица 1. Рост, прочности бетона во времени при твердении во влажных условиях

Состав вяжущего в бетоне		ОК, см	Прочность на сжатие, Мпа, через месяцы			Прирост прочности, % через месяцы	
наименование цемента и его расход, кг/м ³	Вид наполнителя и его расход кг/м ³		1	3	6	3	6
Глиеждортландцемент - 320	-	2	17.2	22.4	27.0	30	57
Портландцемент рядовой - 240	глиеж - 80	2	21.6	27.5	30.0	41	54
Портландцемент рядовой - 290	глиеж - 100	20	19.5	31.8	32.4	63	66
Портландцемент рядовой - 240	глиеж - 80	2	20.2	29.3	31.7	45	57
Портландцемент рядовой - 290	глиеж - 100	20	18.6	31.2	32.2	68	73

Характер и величина усадки бетона с наполнителями определяются дисперсностью и содержанием последних. Рассмотрим это на примере бетона на обычном пуццолановом цементе и портландцементе с грубодисперсными глиежем и шлаком. У обычного пуццоланового цемента в течение 1 года твердения наблюдается монотонное увеличение линейной усадки. Применение грубодисперсных наполнителей и добавки АЦФ-3М ускоряет нарастание усадки до трехмесячного возраста (табл. 2).

В дальнейшем усадка увеличивается незначительно и за 12 мес. твердения величина усадки у цементов с наполнителями глиежем и шлаком на 26-32% ниже, чем у обычного пуццоланового цемента. При увеличении содержания наполнителей до 50% характер изменения усадки аналогичен обычному пуццолановому, однако, по абсолютной величине они ниже на 49-55%. Наиболее интенсивно процесс усадки бетона развивается в течение 90 сут.

Таблица 2. Изменение усадочных деформаций различных составов цементов, вытвердивших на воздухе

Состав вяжущего		Величина усадочных деформаций, мм/м					
Вид цемента	Вид наполнителя и его количество	3 сут.	7 сут.	28 сут.	3 мес.	6 мес.	12 мес.
Пуццолановый	глиеж, 27	+0.23	0.11	0.88	1.74	2.04	2.55
	глиеж, 25	+0.16	0.13	0.97	1.89	1.92	2.02

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Портландцемент рядовой	глиеж, 25	0.10	0.10	0.91	1.79	1.84	1.93
	глиеж, 50	+0.08	0.08	0.62	1.15	1.63	1.71
	глиеж, 50	+0.06	0.07	0.59	1.08	1.57	1.65

При этом усадка бетона с 25% содержанием наполнителя развивается быстрее, чем бетона на обычном пуццолановом, как и с 50% количеством наполнителя.

Бетон на портландцементе с минеральными грубодисперсными наполнителями глиежем и шлаком в сочетании с добавкой АЦФ-3М обладает достаточной морозостойкостью. Предпосылкой к этому является сравнительно меньшая водопотребность бетонных смесей и улучшение поровой структуры бетона с глиежем и шлаком, а более грубая дисперсность последних, снижая активность наполнителя, очевидно способствует более длительному процессу связывания с гидроокисью кальция. Наличие же кристаллогидратов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и существенное уменьшение количества гелеобразной фазы и обуславливают образование структуры, обеспечивающей устойчивость цементного камня против попеременного замораживания и

оттаивания, что видно на примере составов бетона (табл. 3) и подтверждается данными табл. 4.

Представленные составы бетона выдержали 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При этом образцы бетона с наполнителем глиежем снизили прочность на 14-15%, а со шлаком - на 7-9%.

Известно, что сульфатостойкость пуццоланового и шлакопортландцемента зависит не только от минерального состава клинкера, но и от качества и количества активных минеральных наполнителей. При этом сульфатостойкость бетона увеличивается по мере повышения содержания активных минеральных наполнителей. Данные, приведенные в табл. 5 свидетельствуют о достаточно высокой сульфатостойкости бетона с минеральными наполнителями и добавкой АЦФ-3М, что объясняется связыванием гидроксида кальция, и, вероятно, уменьшением количества трехкальциевого алюмината в цементном камне.

Таблица 3. Составы бетонной смеси с добавкой АЦФ-3М и минеральным наполнителем

Наименование составляющих	Содержание составляющих, кг/м ³ в составах	
	1	2
Портландцемент	232	240
Наполнитель:		
– глиеж	148	-
– шлак	-	130
– песок	600	620
– щебень	1150	1230
– вода, л	177	165
Добавка АЦФ-3М	0.785	0.785

Вместе с этим по абсолютной величине деформации усадки бетона с наполнителями глиежем и шлаком при 25 и 50% их содержании на 30-40 и 60-70% ниже, чем бетона на пуццолановом цементе. Эти изменения можно объяснить снижением водопотребности бетонной смеси, уменьшением объема цементного камня, за счет замены активной клинкерной части минеральным наполнителем.

Повышенные значения коэффициента призмочной прочности и модуля упругости характерны для бетона с добавкой АЦФ-3М и грубодисперсными глиежем и шлаком. Таким образом, пластифицирующий и упрочняющий эффекты, вносимые АЦФ смолами в процесс структурообразования микро и макроструктуры, положительно влияют на деформативные характеристики наполненного бетона.

Таблица 4. Морозостойкость бетона с добавкой АЦФ-3М и минеральным наполнителем

№ составов	Коэффициент морозостойкости после циклов испытание				
	25	50	100	200	300
1	0.98	0.95	0.92	0.9	0.8
2	1.0	0.98	0.97	0.93	0.9

Impact Factor:

ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 1.582	РИИЦ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

Таблица 5. Сульфатостойкость бетона с минеральными наполнителями и добавкой АЦФ-3М

Вид бетона	Прочност (МПа) и $K_{ст}$ минерализованной воде с содержанием сульфат ионов (мг/л)				
	Контрольных образцов	Т2419		Т5585	
		360 ОК	$K_{ст}$	360 ОК	$K_{ст}$
Бетон класса в 25 с 0.15% АЦФ-3М и 4% глиежа	25.6	26.4	1.03	24.3	0.95
То же, с 40% шлака	25.3	26.6	1.05	24.7	0.98

Результат экспериментов показали что, обеспечение сульфатостойкости бетона может быть достигнуто при комплексном использовании минеральных грубодисперсных наполнителей и добавок АЦФ смол.

Улучшение морозостойкости и сульфатостойкости бетона предопределяет его трещиностойкости.

Вывод. Макроструктура бетона формируется под влиянием, как матричного материала, так и заполнителей. Поэтому при совершенствовании технологии, структуры и свойств бетонов как композиционных материалов полиструктурного строения необходимо учитывать особенности структурообразования на каждом масштабном уровне. Введение в бетонную смесь химических добавки в сочетании минеральными наполнителями упрочняет структуру бетона на всех уровнях.

При совместном введении в портландцемент минеральных наполнителей и добавки АЦФ-3М наблюдаются общие закономерности морфологии цементного камня – его блочноагрегатная структура. Использование добавки АЦФ-3М и повышенного количества грубодисперсных минеральных наполнителей способствует уплотнению цементного камня, снижению усадки, следствием чего может быть повышение долговечности бетона.

Введение грубодисперсных наполнителей и добавки АЦФ-3М приводит к более равномерному распределению пор по размерам, снижает капиллярную пористость и увеличивает количество условно - замкнутых пор, улучшение поровой структуры цементного камня с наполнителями и обуславливает достаточно высокую морозостойкость наполненного бетона, которая составила 300 циклов. Который обеспечивает высокую трещиностойкость бетона.

References:

- Gochakov, G. I., et al. (1976). *Sostav, struktura i svojstva cementnyh betonov [Gočakov, GI ir kiti. Cementi nių betonų sudėtis, struktūra ir savybės]*. Moskva: Strojizdat.
- Osetinskij, Ju. V., & Podval'nyj, A. M. (1982). O vybore modeli dlja rascheta sobstvennyh naprjazhenij v betone. *Mehanika kompozitnyh materialov*, №. 5, pp. 789-796.
- Gusev, V.V., Zajeimko, V.G., & Netesa, N.A. (1978). *Beton: jakim jomu buti?* (p.48). Kiev: Znanija.
- Voznesenskij, V. A., et al. (1983). *Sovremennye metody optimizacii kompozicionnyh materialov*. /Pod red. Voznesenskogo V.A, (p.144). Kiev: Budivel'nik.
- Vyrovoj, V. N., Abakumov, V. V., & Azarova, S. Ja. (1982). *Optimizacija bezothodnyh i jenergosberegaušhkih tehnologij kompozicionnyh materialov*. Kiev: Izd-vo obshh-vo «Znanie».
- Mamazhonov, A. U., Jynusaliev, Je. M., & Abobakirova, Z. A. (2020). *Ob opyte primenija dobavki acf-3m pri proizvodstve sbornyh zhelezobetonnyh izdelij. Jenergo-resursosberegaušhkie tehnologii i oborudovanie v dorozhnoj i stroitel'noj otrasljah*, pp. 216-220.
- Vyrovoj, V. N. (1983). *Mehanizm formirovanija vnutrennih poverhnostej razdela pri tverdenii stroitel'nyh kompozicionnyh materialov*. Primenenie cementnyh i asfal'tovyh betonov v Sibiri: Sb. nauch. tr./SibADI, (pp.2-10). Omsk.
- Kucherenko, A. A., & Vyrovoj, V. N. (1975). *Nabuhanie i usadka keramzita v strukturoobrazovanii betona*. *Zhurnal*

Impact Factor:	ISRA (India) = 6.317	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
	ISI (Dubai, UAE) = 1.582	ПИИИ (Russia) = 3.939	PIF (India) = 1.940
	GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 9.035	IBI (India) = 4.260
	JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 7.184	OAJI (USA) = 0.350

- «*Budivel`ni materiali ta konstrukci*, №. 5, pp. 42-43.
- O'rag'ovich, M.A., Maxammatyakubovich, Y.E., & Numanovich, A.I. (2021). Features of the properties of cement systems in the presence of mineral fillers and additives of acetone-formaldehyde resin. *Scientific and technical journal of NamIET*, Vol.6, - Iss.1, 99-108.
 - Solomatov, V.I., Tohirov, M.K., & Hokin, V.K. (1990). *Resurso s beregaushhaja tehnologija betona*. (p.32, 48-80). Tashkent: izd-vo «Mehnat».
 - Mamazhonov, A., & Kosimov, L. (2021). Osobnosti svojstv cementnyh sistem v prisutstvii mineral'nyh napolnitelej i dobavki acetonoformal'degidnoj smoly. *Graal' Nauki*, (5), 102-108.