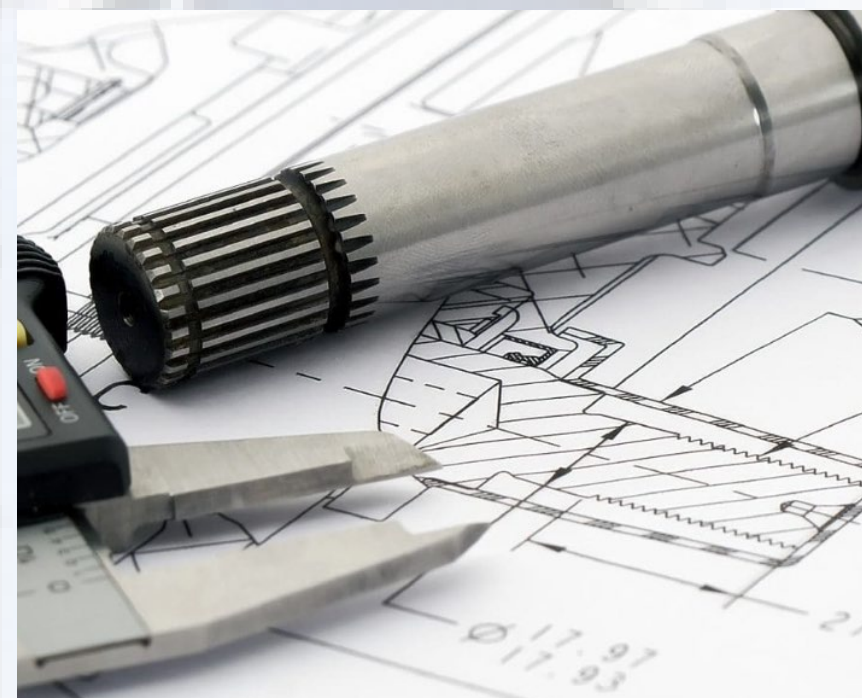
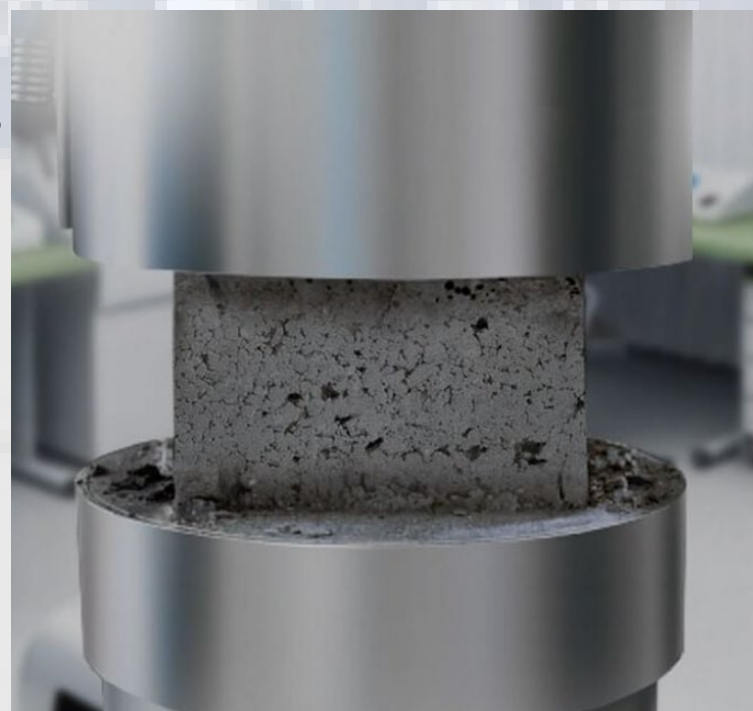


Эксплуатационные свойства высокопрочного бетона, подвергаемого периодическому воздействию знакопеременных температур



Докладчик – Гольденберг Александр Львович,
Председатель Комитета «Бетон. Производство и технология» Ассоциации НОПСМ,
исполнительный директор ООО Институт «Стройстандарт»
советник Российской инженерной академии





Аккредитация и аттестация
испытательных лабораторий

Декларирование и сертификация
бетона и ЖБИ

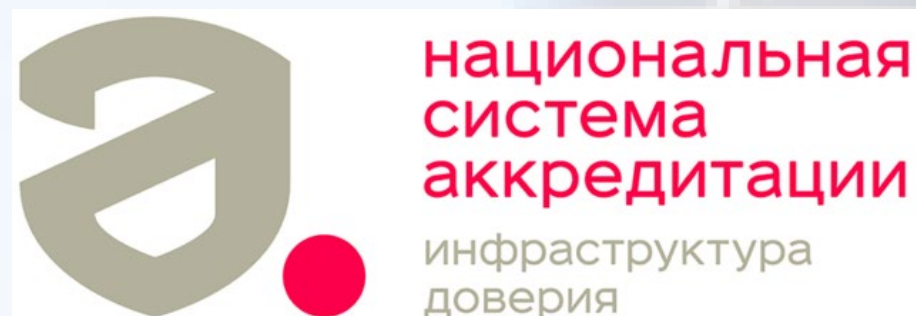
Метрологическая служба

Технологический консалтинг –
подбор составов бетонов,
разработка ТУ



ИНСТИТУТ «СТРОЙСТАНДАРТ»

краткая информация об организации



ТК 465
«Строительство»



Испытательный
центр
аккредитован в
Росаккредитации

География – все
регионы России,
Беларусь и
зарубежье

Организация
состоит в ТК465,
Ассоциации
НОПСМ, СПб

Весь спектр работ
по сертификации,
декларированию,
метрологии и
аккредитации

Цель работы

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА,
ПОМЕЩЕННОГО В НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ
($T=20\text{ C}$, $W\ 95\%$) ПОСЛЕ ЦИКЛИЧЕСКОЙ
МОРОЗНОЙ ДЕСТРУКЦИИ
(ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ)



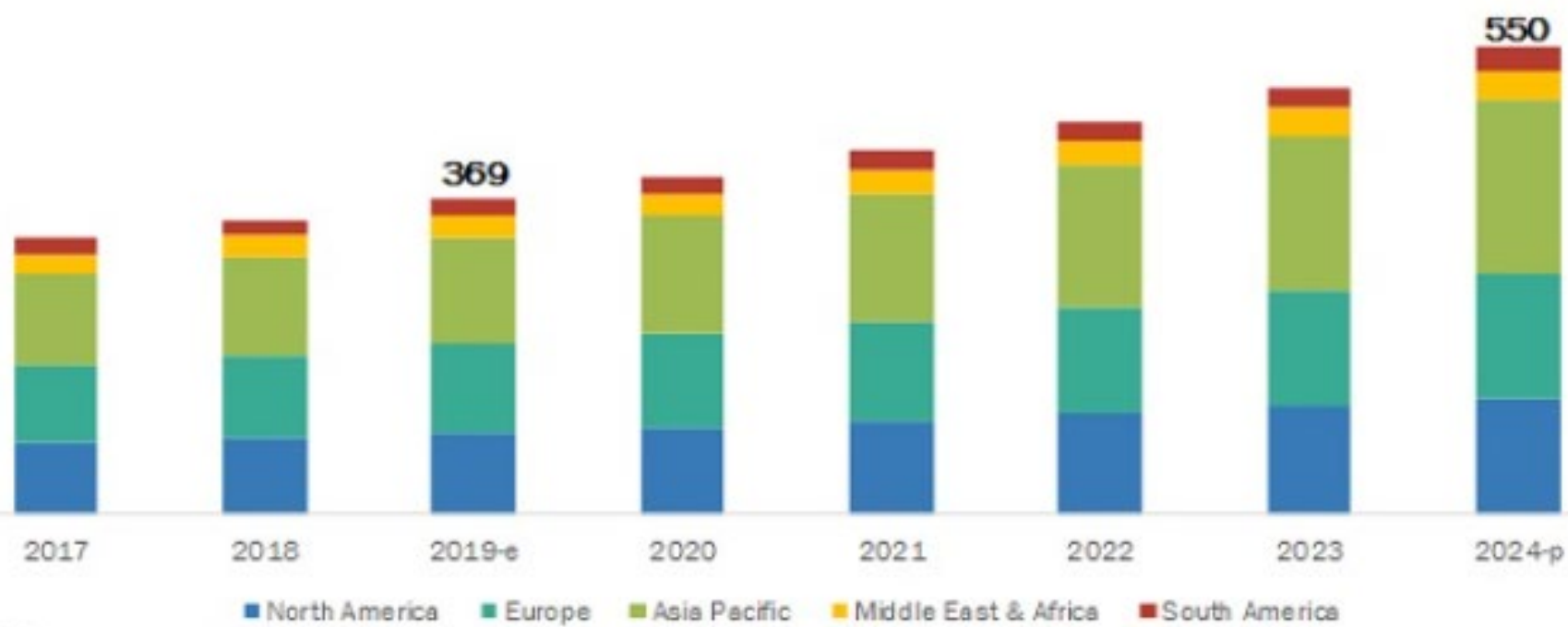
Актуальность работы

**Модификаторы бетона –
эффективный ультрадисперсный
высокотехнологичный продукт**

**Возведение и эксплуатация зданий и
сооружений осуществляется в разных
климатических зонах**

**Экономический эффект, связанный с более
высокой долговечностью конструкций из
модифицированного высокопрочного бетона**

ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE MARKET, BY REGION (USD MILLION)



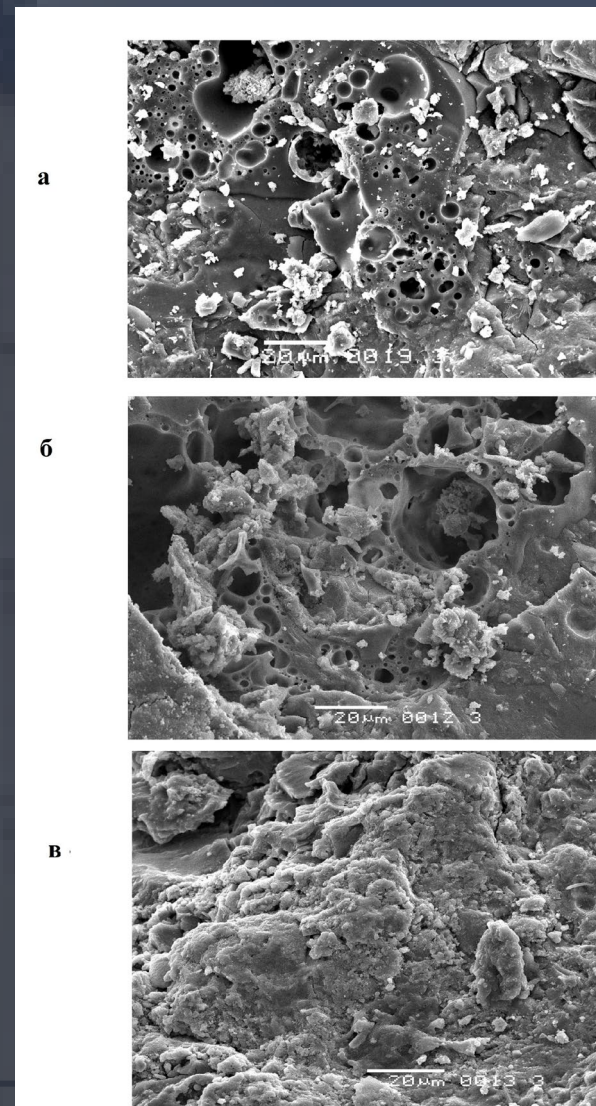
Научная гипотеза работы

**ВЫСОКОПРОЧНЫЙ
БЕТОН С ОРГАНО-
МИНЕРАЛЬНЫМ
МОДИФИКАТОРОМ
ИМЕЕТ ОСТАТОЧНЫЙ
РЕЗЕРВ ГИДРАТАЦИИ,
КОТОРЫЙ ПОЗВОЛЯЕТ
ВОССТАНАВЛИВАТЬ
ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
БЕТОНА ЗА СЧЁТ
ЛУЧШЕЙ
МИКРОСТРУКТУРЫ.**

При морозном знакопеременном воздействии («деструкции») структура высокопрочного бетона подвергается деформациям и образованию микротрещин.

Изменение условий окружающей среды, в которой находится бетон, на «комфортные» (постоянная положительная температура и влажность), образует в структуре материала, за счёт остаточного ресурса гидратации, кристаллогидраты $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который со временем, возможно, превращается в CSH – тоберморитовый гель в устьях микротрещин.

Кольматация трещин продуктом карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ компенсирует повреждение структуры цементного камня и бетона, что ведет к компенсации снижения (восстановлению) физико-технических свойств после морозной деструкции.



Состояние вопроса

Ряд отечественных и зарубежных исследователей считают, что при повреждении железобетонных конструкций от агрессивного воздействия окружающей среды ресурс надежности конструкции не только не исчерпан, но и имеет место обратная тенденция

1913 г.

- Д. Абрамс
- Заращение трещин в бетоне кристаллами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 , сопровождающееся частичным или полным восстановлением прочности конструкции, называется «самозалечиванием»

50 е

- А. М. Невилль
- Мелкие трещины в бетоне, могут полностью залечиваться при влажных условиях. Чем более раннего возраста бетон, тем выше вторичный рост прочности, но восстановление без потери прочности наблюдается и в возрасте бетона до трех лет

70 е

- З. М. Ларионова
- Сформированный цементный камень из C_3S обычно содержит небольшое количество карбоната кальция. Однако длительное хранение образцов на воздухе способствует развитию процесса карбонизации, который постепенно затрагивает все более глубокие слои. Поверхностный слой такого образца на некоторую глубину содержит много кристаллов CaCO_3 . Кристаллизация кальцита несколько уплотняет и упрочняет бетон.

2000е

- К. Эдвардсен
- Формирование карбоната кальция в трещинах - почти единственная причина самозалечивания. При нахождении бетона во влажных условиях микротрещины способны самозалечиваться за счет образования кристаллов карбоната кальция (CaCO_3) в трещине.



Решаемые задачи

01

Разработка методики проведения исследований и обоснование выбора характеристик бетона, обеспечивающих эксплуатационный ресурс конструкций

Исследование изменения основных физико-технических свойств бетонов, определяющих эксплуатационную надежность конструкций, в зависимости от периодического воздействия низких отрицательных температур с последующим выдерживанием в нормальных температурно-влажностных условиях

02

03

Исследование воздействия знакопеременных температур на структурообразование и свойства цементного камня

Разработка рекомендаций по оценке надежности конструкций из высокопрочного бетона при периодическом воздействии на них знакопеременных температур

04

Исследуемые параметры



Используемые материалы

**ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ - ВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЕТОН
НА ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОМ МОДИФИКАТОРЕ**

➤ **БСТ В70 П5 F₂300 W18 - высокопрочный бетон с
органо-минеральным модификатором МБ 10-50С
ГОСТ 31914-2012**

➤ **БСТ В70 П5 F₂300 W18 - высокопрочный бетон с
органо-минеральным модификатором и
комплексной кремний-органической эмульсией
КЭ 30-04 ГОСТ 31914-2012**

**Контрольный состав – традиционный бетон на
нафталин-формальдегидном пластификаторе**

➤ **БСТ В70 П5 F₂300 W18 - высокопрочный бетон на
суперпластификаторе С-3 ГОСТ 31914-2012**

**Цемент – ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ
31108-2020**

**Песок Мкр=2,5-2,8
ГОСТ 8736-2014**

**Щебень гранитный фр. 5-20 ГОСТ
8267-93**

**Органо-минеральный модификатор МБ
10-30С
ТУ 5743-083-46854090-98**

**Суперпластификатор С-3
ТУ 5870-002-58042865-03**

**Кремнийорганическая эмульсия КЭ 30-04
ТУ 2251-035-00209013-2004**

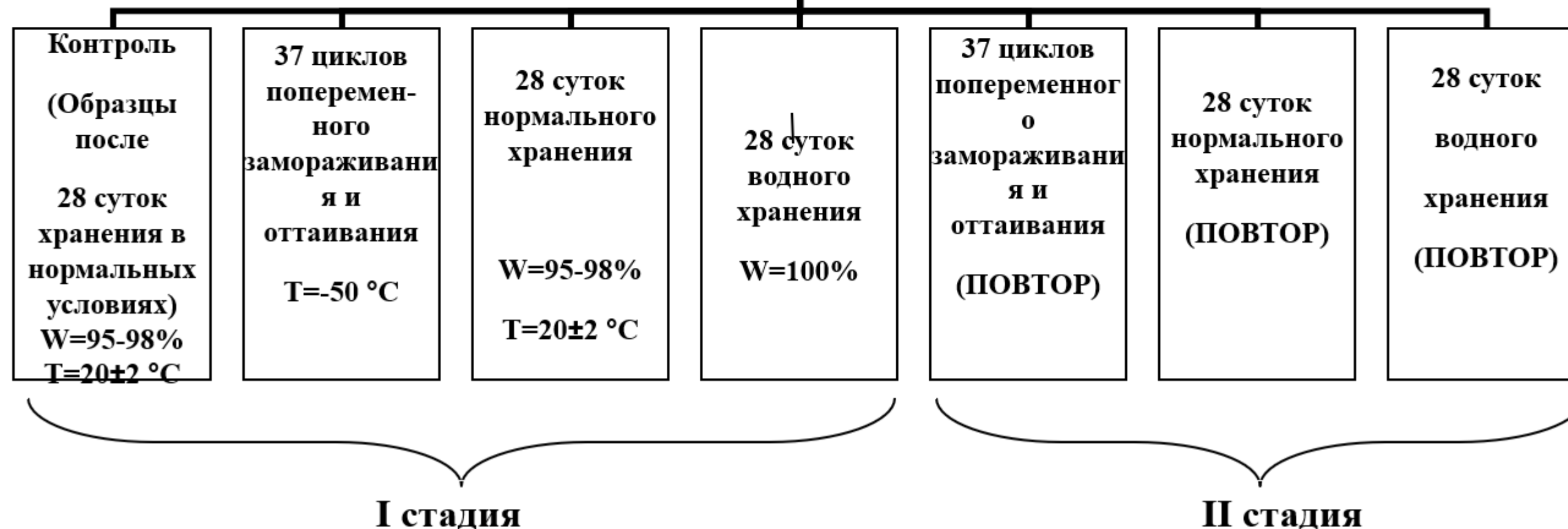
ВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЕТОН

Методика эксперимента по оценке эксплуатационных свойств бетонов

**ДВУХСТАДИЙНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ** **БЫЛ ВЫБРАН**
ДЛЯ **ОБЕСПЕЧЕНИЯ**
ДОСТОВЕРНОСТИ
ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ
БОЛЬШОМ ОБЪЕМЕ НАТУРНЫХ
ИСПЫТАНИЙ БЕТОНА

Серии
образцов
бетона

Для оценки возможности получения высоких характеристик бетона при условном воздействии положительной и отрицательной температур была выбрана методика, основанная на смене режима хранения образцов («нормальные условия» – «морозная деструкция» - ГОСТ 10180 – ГОСТ 10060)



Оптимизация составов комплексных добавок

Матрица плана и результаты его реализации для добавок МБ 10-30С.

№№ п/п	Уровни изменения переменных				Прочность бетона, МПа
	кодированные		натуральные		
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	
1	-	-	0,3	0,005	64
2	+	-	0,7	0,005	78
3	-	+	0,3	0,015	66
4	+	+	0,7	0,015	85
5	0	0	0,5	0,01	71
6	+	0	0,7	0,01	77
7	-	0	0,3	0,01	74
8	0	+	0,5	0,015	75
9	0	-	0,5	0,005	67

$$Y_1 = 71 + 17X_1 + 4X_2 - 8X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

МБ 10-30С

$$Y_1 = 71 + 17X_1 + 4X_2 - 8X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

МБ 10-30С+КЭ

$$Y_2 = 71 + 16X_1 + 4X_2 - 6X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

МБ 10-50С

$$Y_3 = 65 + 14X_1 + 2X_2 - 3X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

МБ 10-50С+КЭ

$$Y_4 = 65 + 13X_1 + 2X_2 - 3X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

Матрица плана и результаты его реализации для добавок МБ 10-30С+КЭ.

№№ п/п	Уровни изменения переменных				Прочность бетона, МПа
	кодированные		натуральные		
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	
1	-	-	0,3	0,005	66
2	+	-	0,7	0,015	78
3	-	+	0,3	0,005	66
4	+	+	0,7	0,015	86
5	0	0	0,5	0,01	70
6	+	0	0,7	0,01	77
7	-	0	0,3	0,01	75
8	0	+	0,5	0,015	73
9	0	-	0,5	0,005	68

$$Y_2 = 71 + 16X_1 + 4X_2 - 6X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

Матрица плана и результаты его реализации для добавок МБ 10-50С.

№№ п/п	Уровни изменения переменных				Прочность бетона, МПа
	кодированные		натуральные		
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	
1	-	-	0,1	0,005	62
2	+	-	0,2	0,005	73
3	-	+	0,1	0,015	61
4	+	+	0,2	0,015	80
5	0	0	0,15	0,01	65
6	+	0	0,2	0,01	68
7	-	0	0,1	0,01	72
8	0	+	0,15	0,015	72
9	0	-	0,15	0,005	66

$$Y_3 = 65 + 14X_1 + 2X_2 - 3X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

Матрица плана и результаты его реализации для добавок МБ 10-50С+КЭ

№№ п/п	Уровни изменения переменных				Прочность бетона, МПа
	кодированные		натуральные		
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	
1	-	-	0,1	0,005	61
2	+	-	0,2	0,005	74
3	-	+	0,1	0,015	63
4	+	+	0,2	0,015	79
5	0	0	0,15	0,01	65
6	+	0	0,2	0,01	68
7	-	0	0,1	0,01	74
8	0	+	0,15	0,015	71
9	0	-	0,15	0,005	65

$$Y_4 = 65 + 13X_1 + 2X_2 - 3X_1^2 - X_2^2 + X_1X_2$$

Для дальнейших исследований был принят состав В70П5 с расходом МБ 20% от массы цемента, а также состав В70 П5 с расходом МБ 20% от массы цемента, расходом кремнийорганической эмульсии КЭ 30-04 0,01% от массы цемента.

Установлено:

1. Максимальная прочность бетона может быть получена при содержании МБ – 10-30С - 20%, содержании воды не более 145 кг/м³, соотношении песка и щебня в диапазонах 0,79-0,81.
2. Определены уравнения регрессии, выражающие взаимосвязь прочности бетона с оптимальной дозировкой органо-минерального модификатора и кремний-органической эмульсии.

Результаты эксперимента по подбору состава бетона В70 П5

Наименование свойства	Требуемая величина	Рецептура рациональных составов, кг/м ³				
		Содержание МБ 10-30С	КЭ	Содержание воды затворения, кг/м ³	Расход цемента	Соотн. Песок/Щебень
Подвижность, см	22	96÷98	0,5	145	465÷475	0,79
Прочность бетона, МПа	70					

ИЗОЛИНИИ УРОВНЯ ПРОЧНОСТИ ОТ РАСХОДА ДОБАВОК

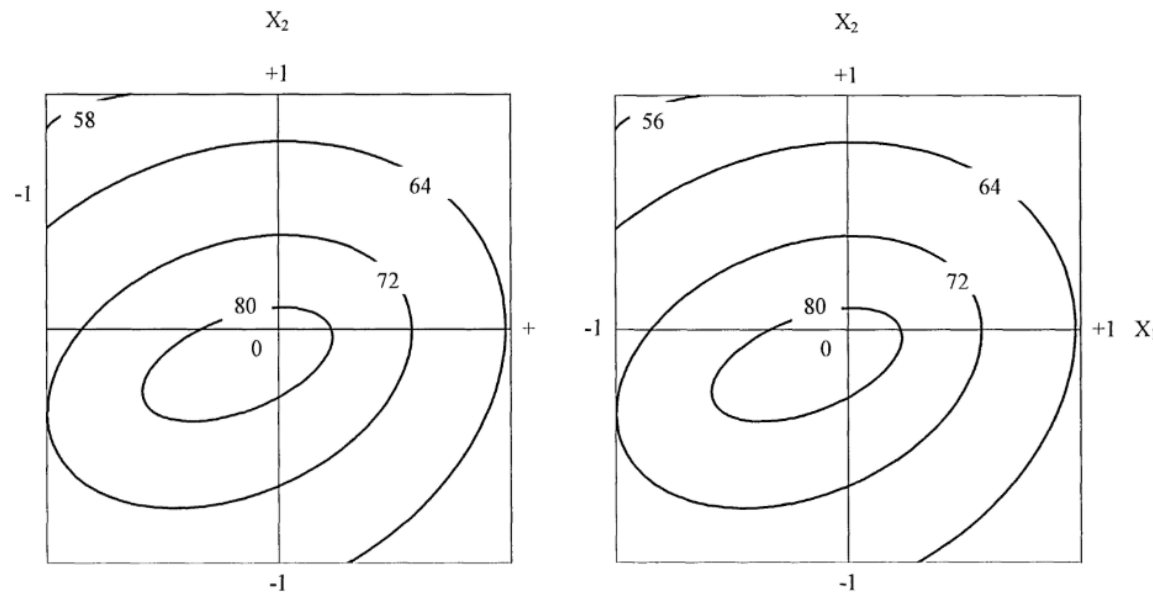


Рис. 1. Изолинии поверхностей уровня зависимости прочности бетона от расхода добавок МБ 10-30С

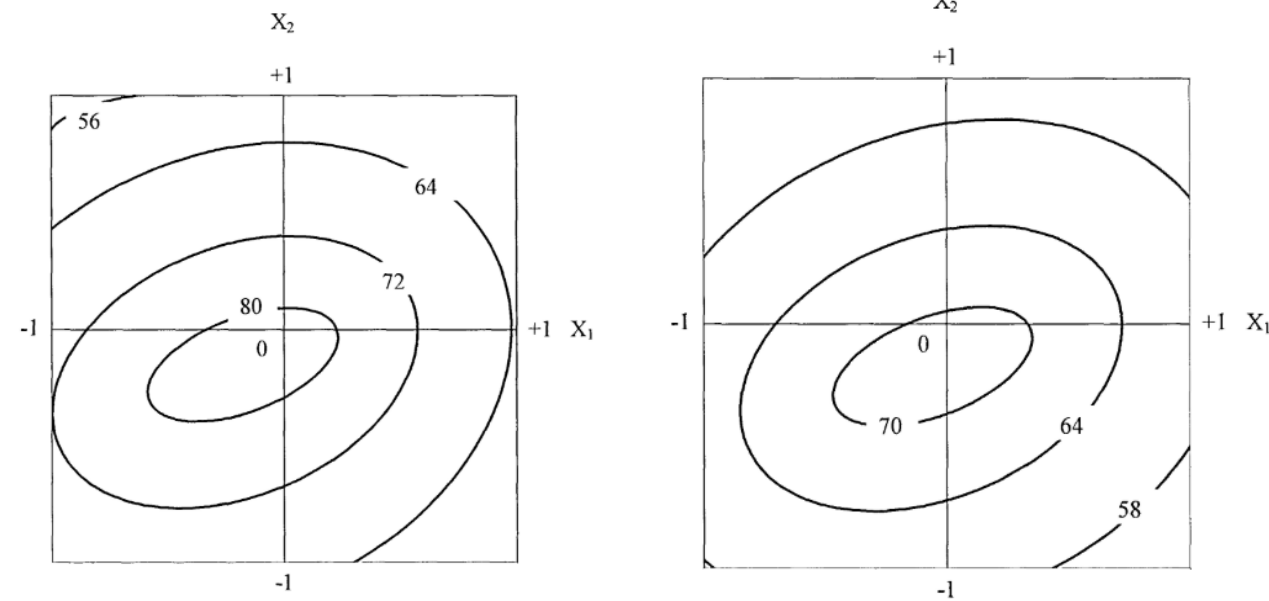


Рис. 2. Изолинии поверхностей уровня зависимости прочности бетона от расхода добавок МБ 10-30С+КЭ.

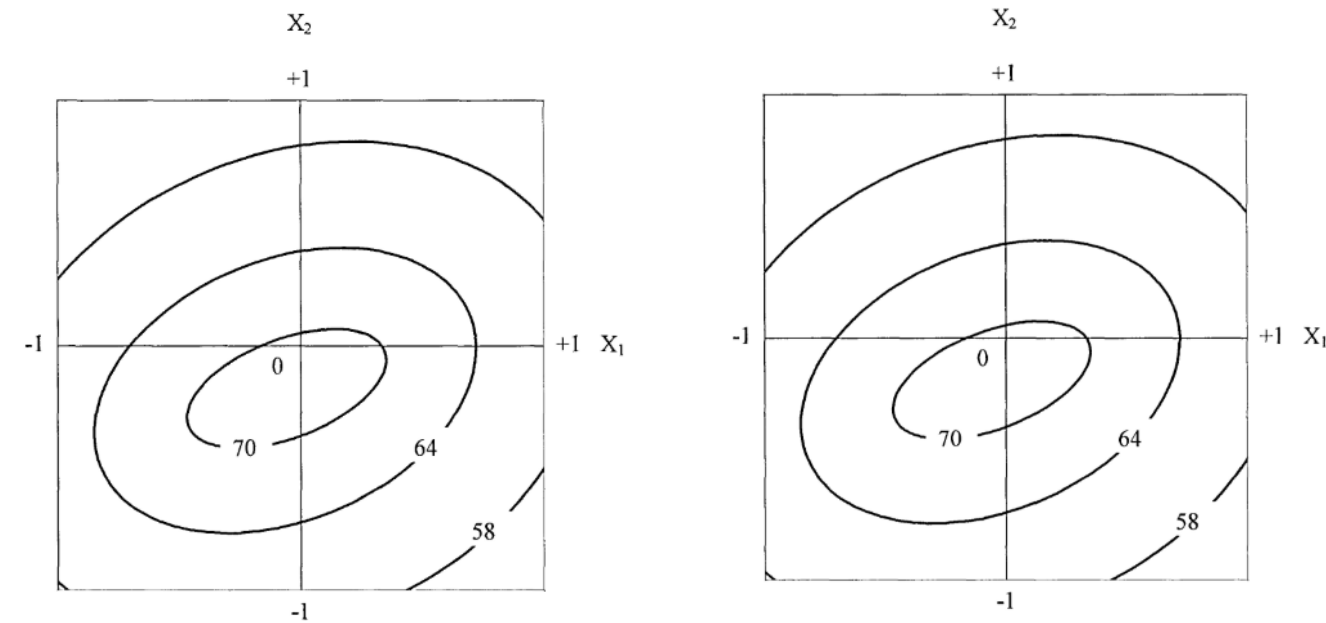


Рис. 3. Изолинии поверхностей уровня зависимости прочности бетона от расхода добавок МБ10-50С

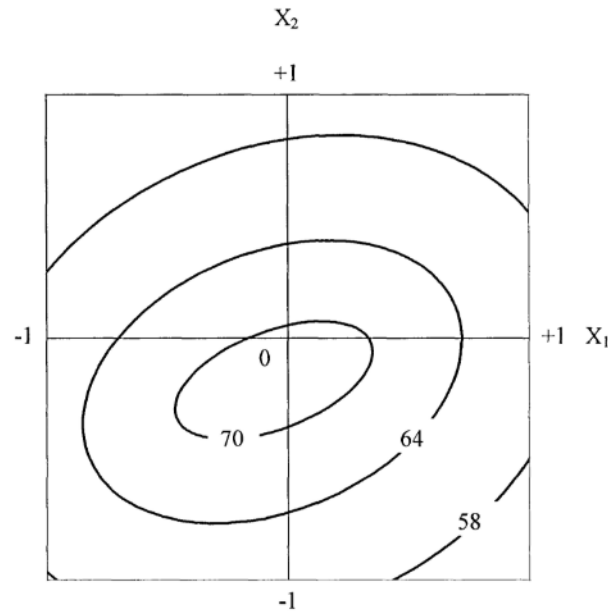


Рис..4. Изолинии поверхностей уровня зависимости прочности бетона от расхода добавок МБ 10-50С+КЭ.

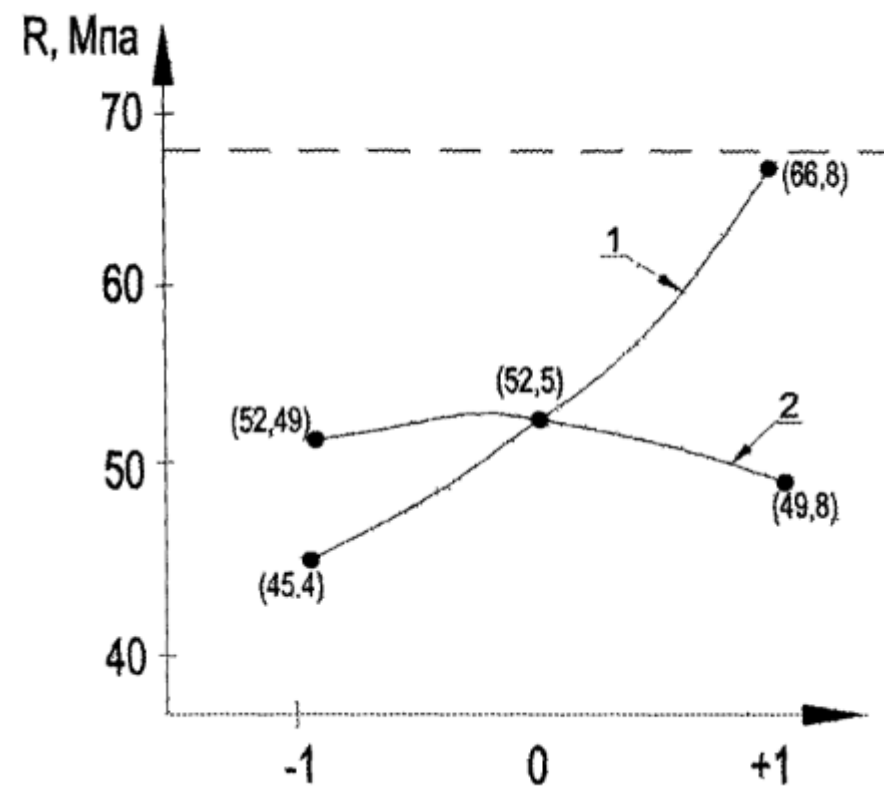


Рис. 5. Зависимость прочности бетона от расхода цемента (Ц) и модификатора (МБ) 1 – расход цемента; 2 – расход МБ

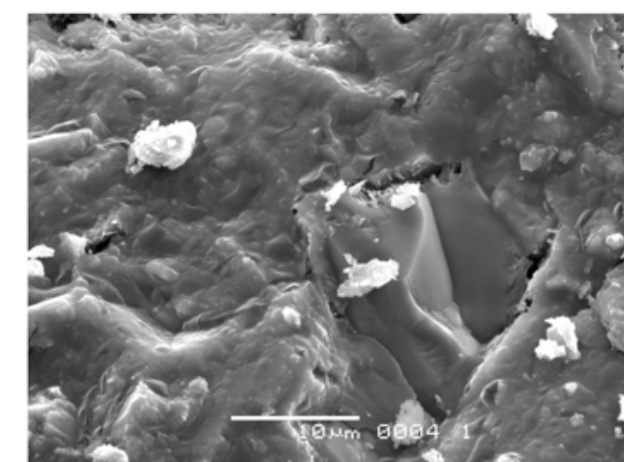
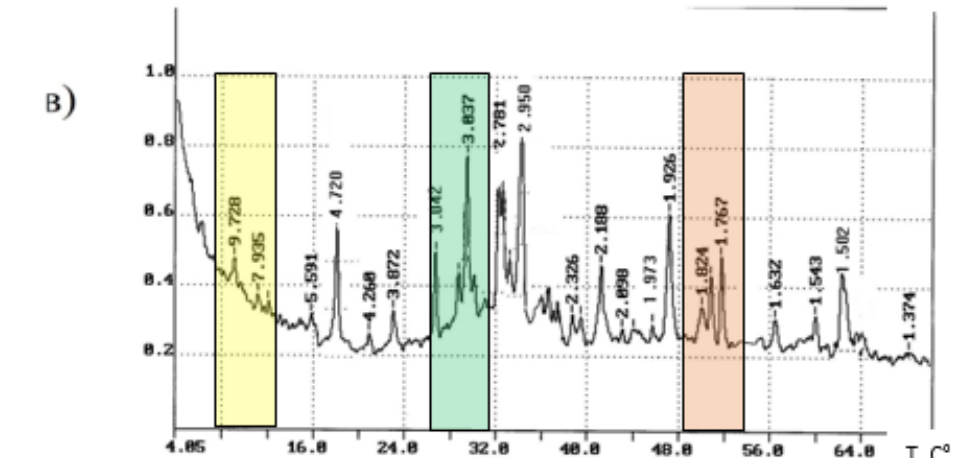
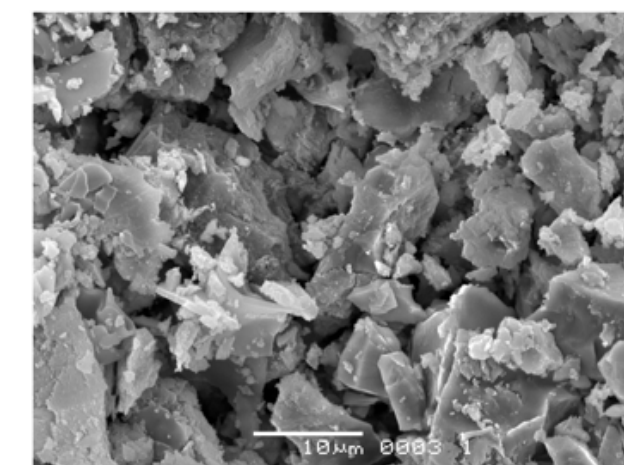
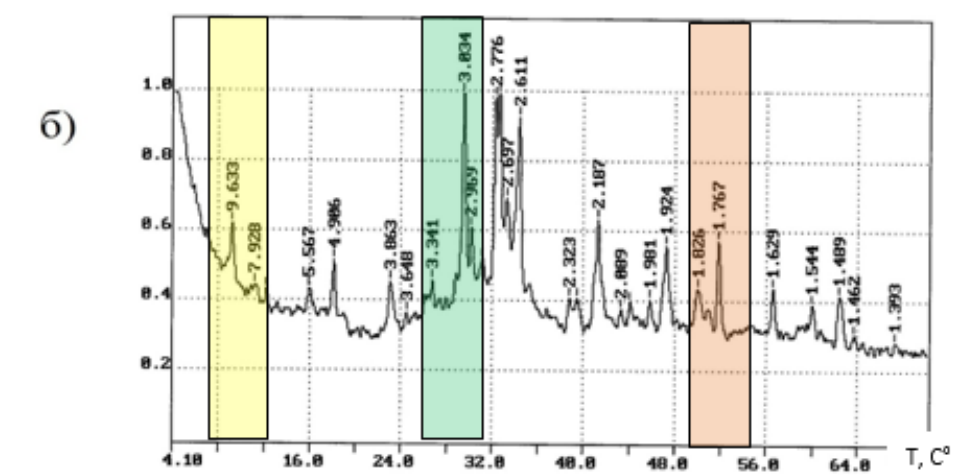
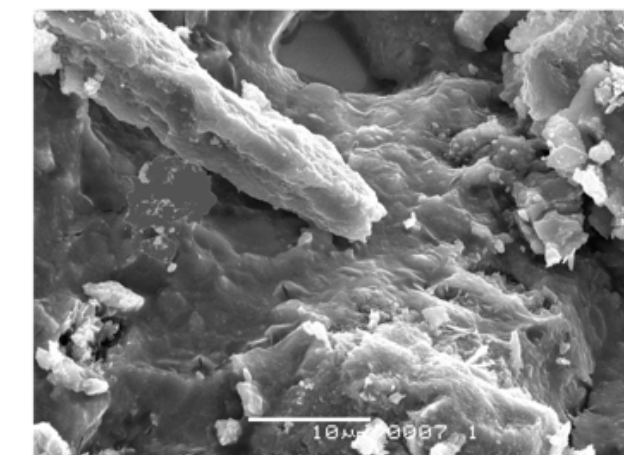
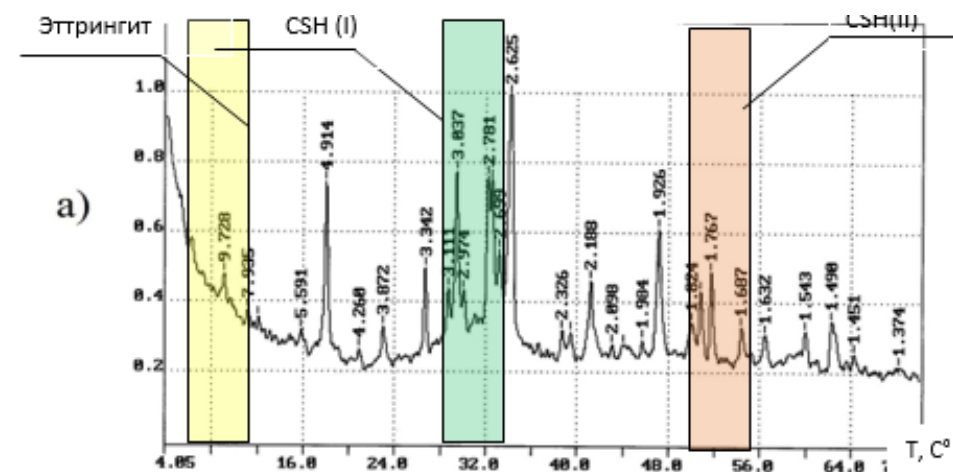
Свойства бетонных смесей и бетонов

№ состава	Состав бетонных смесей, кг/м ³							Свойства смесей				
	Ц	П	Щ	В	МБ-30С	СП	КЭ	В/Ц	В/(Ц+МБ)	Подвижность, см	Плотность, кг/м ³	Объем воздуха, %
1-К	585	690	965	150	-	7,0	-	0,26	0,26	20	2396	2,1
2-МБ	475	755	950	145	98	-	-	0,31	0,25	22	2423	2,0
3-МБ	465	740	930	145	96	-	0,5	0,31	0,26	22	2375	4,0

№ состава	Класс бетона	Характеристики в 28 суток нормального твердения				
		прочность, МПа		модуль упругости, ГПа		коэффициент диффузии, 1×10^{-9} см ² /сек
		кубы	призмы	статический	динамический	
1-К	В60	76,3	72,4	35,8	49,4	32,8
2-МБ	В70	89,2	83,1	44,0	47,7	3,2
3-МБ	В70	88,1	83,8	46,7	48,8	3,1

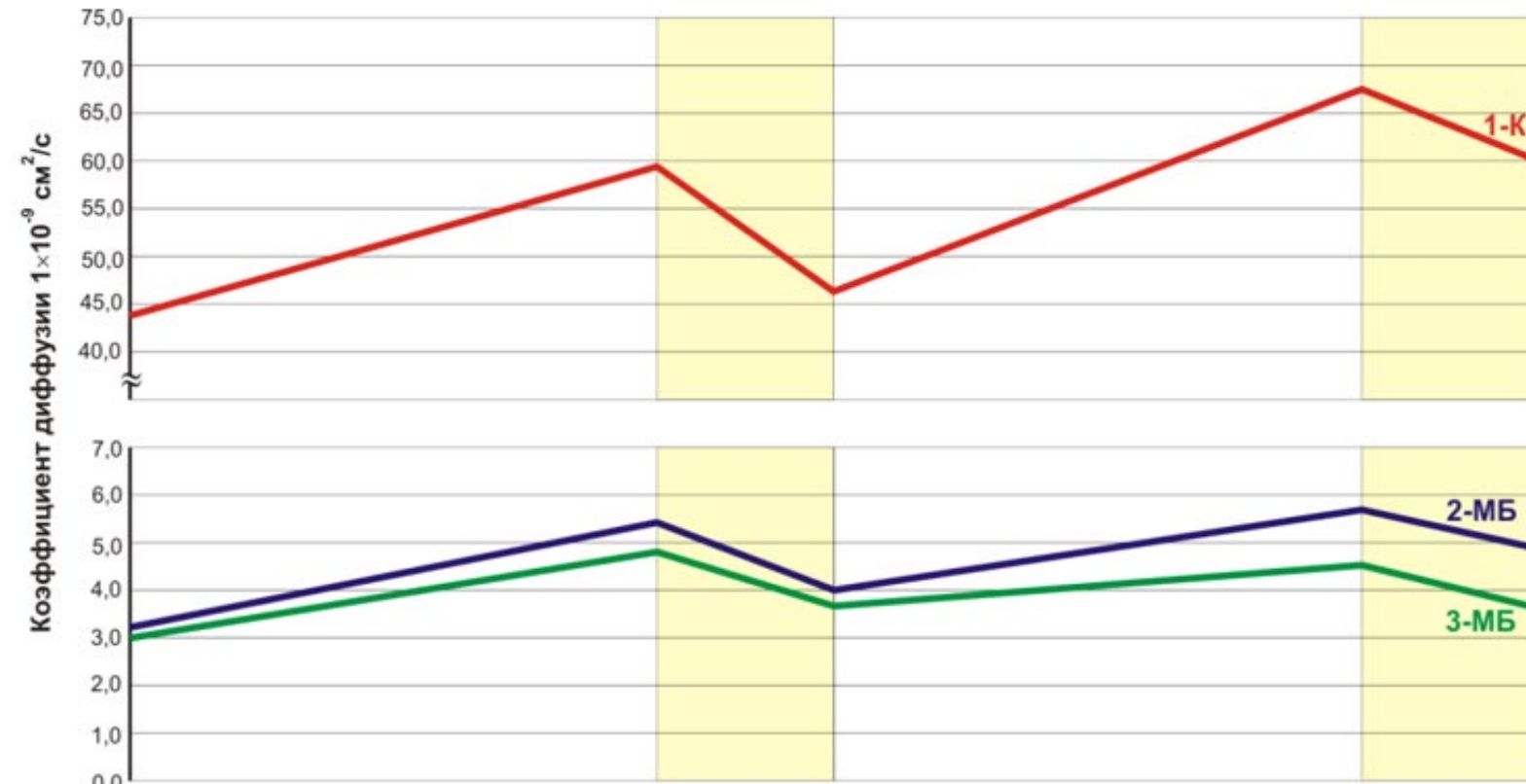


Методы исследования структуры цементного камня

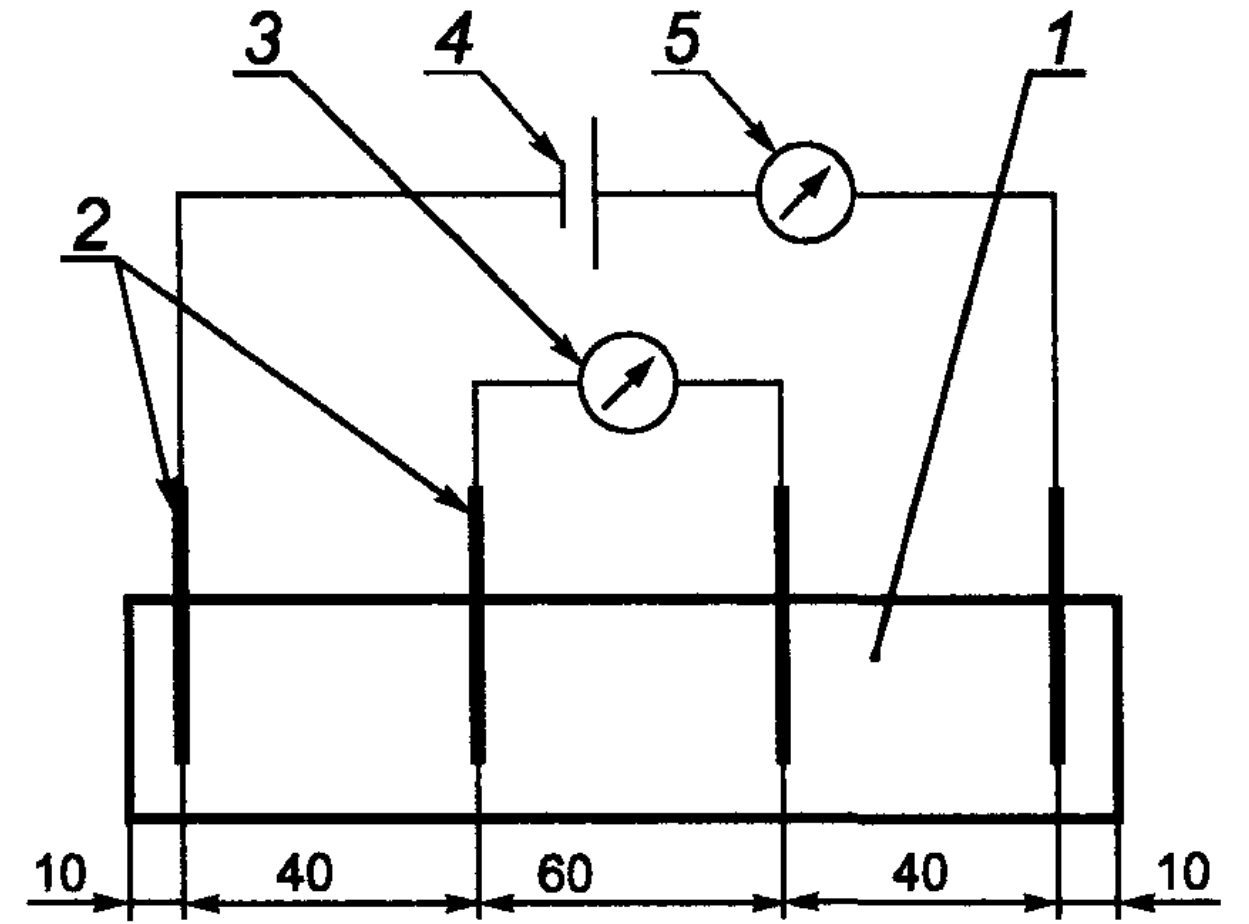
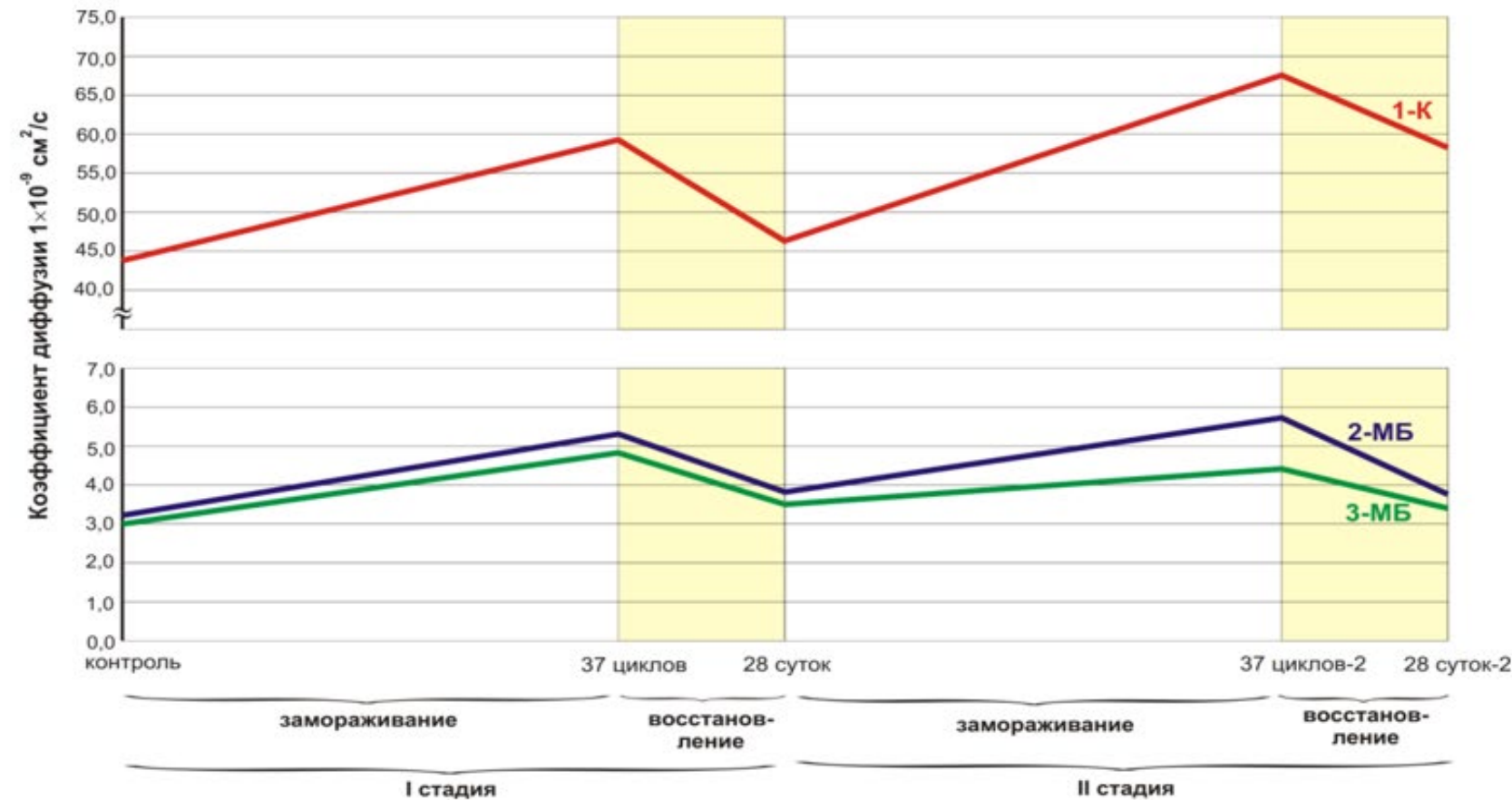


Изменение коэффициента диффузии хлор-ионов при восстановлении в воздушной (а) и в водной (б) средах

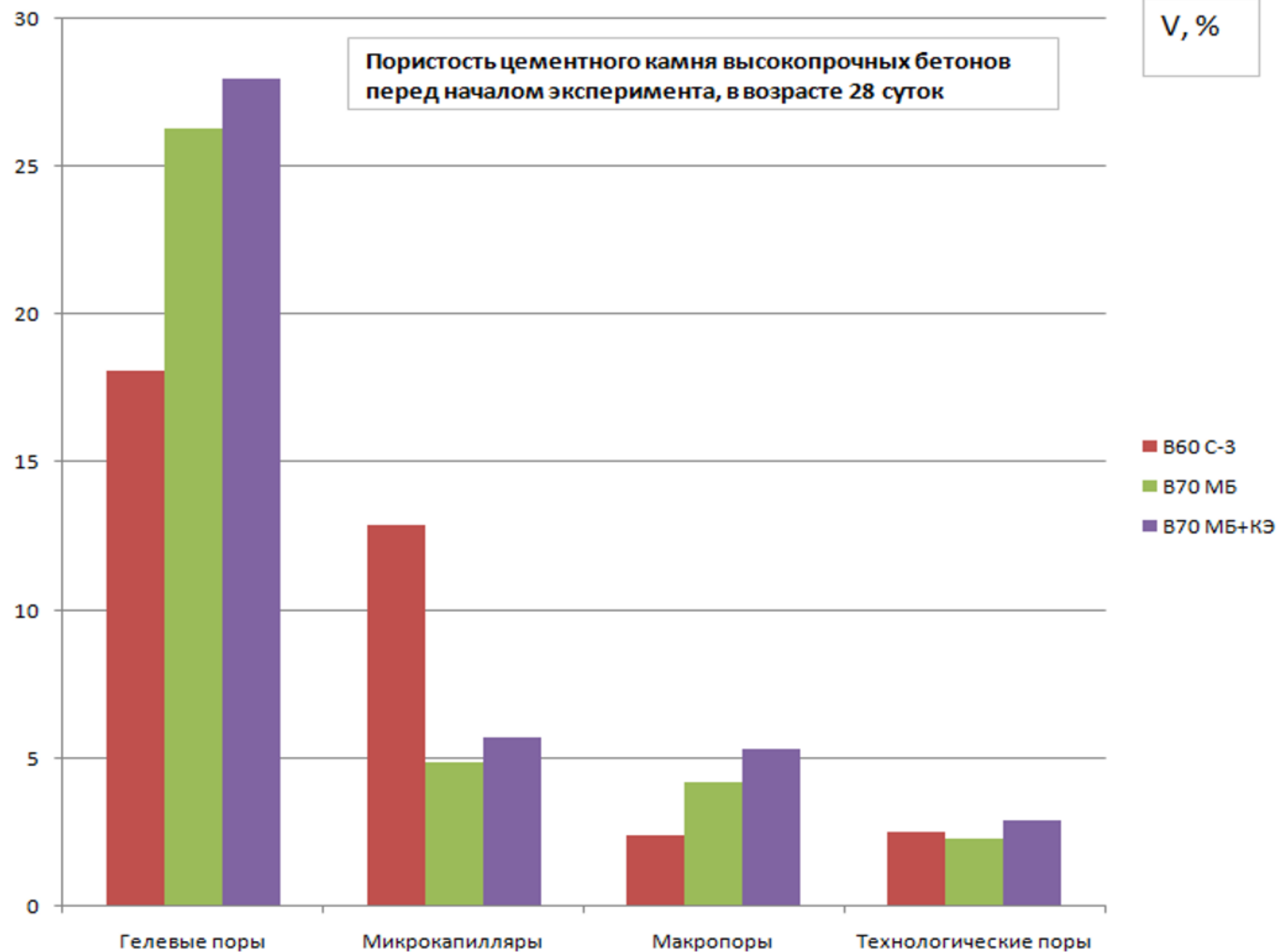
а)



б)

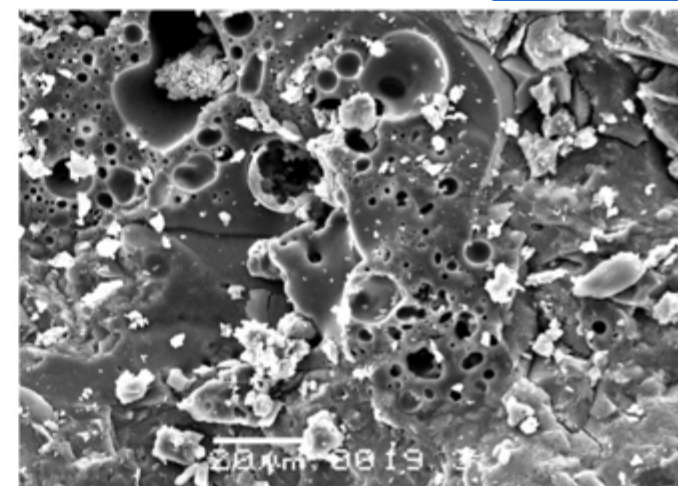
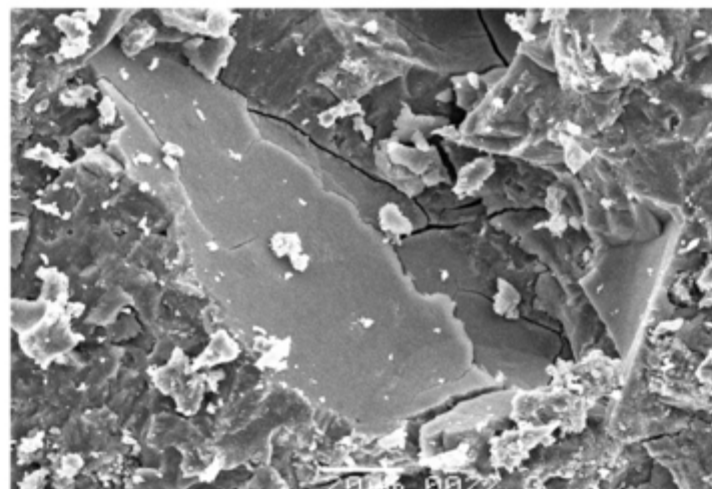


Пористость цементного камня

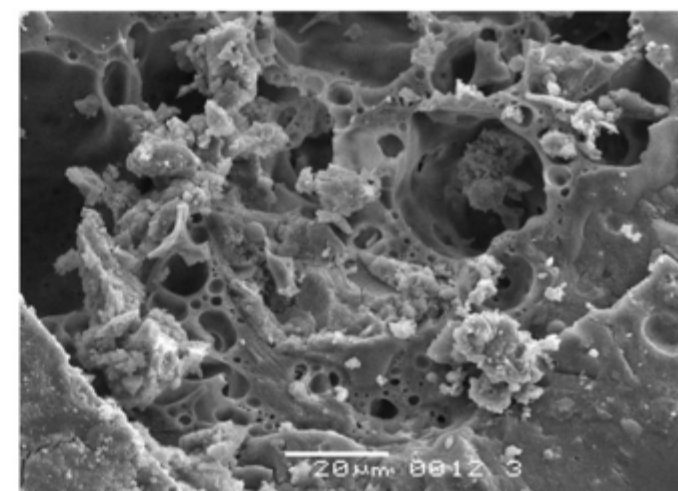
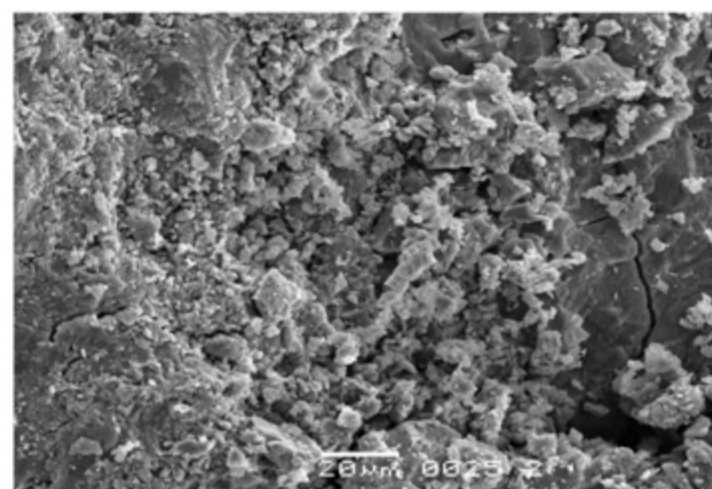
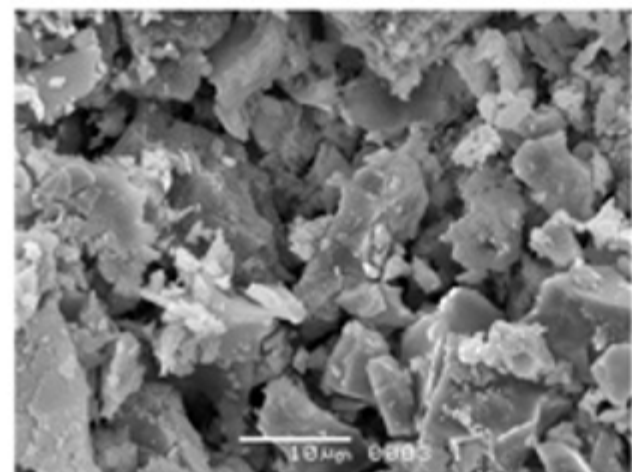


Микрофотографии цементного камня

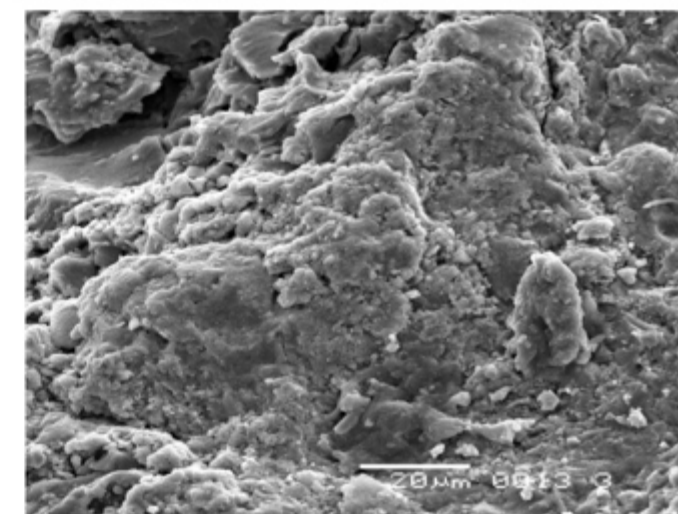
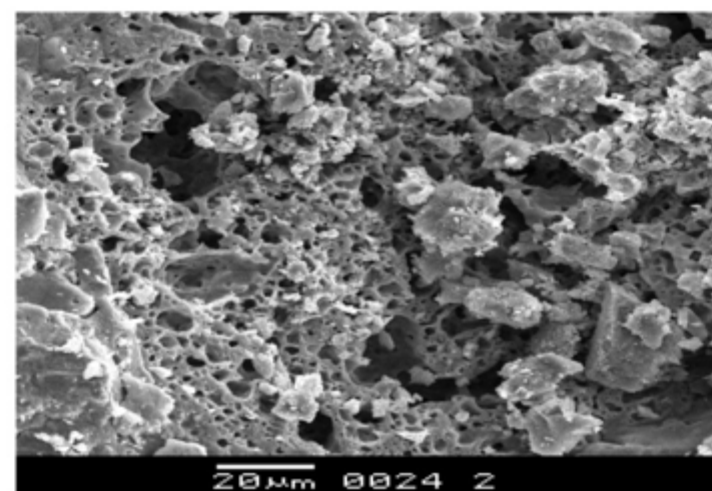
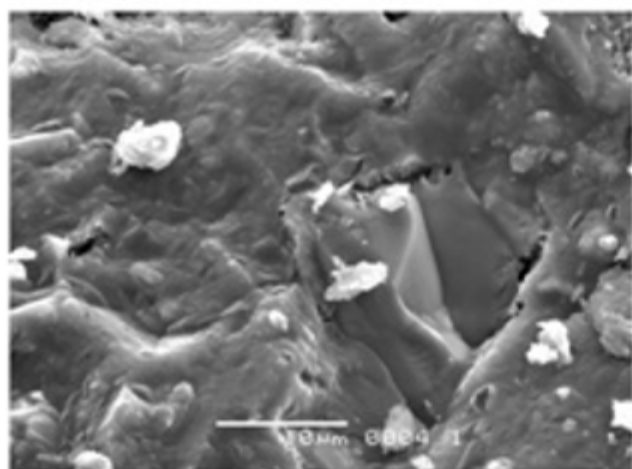
а)



б)



в)

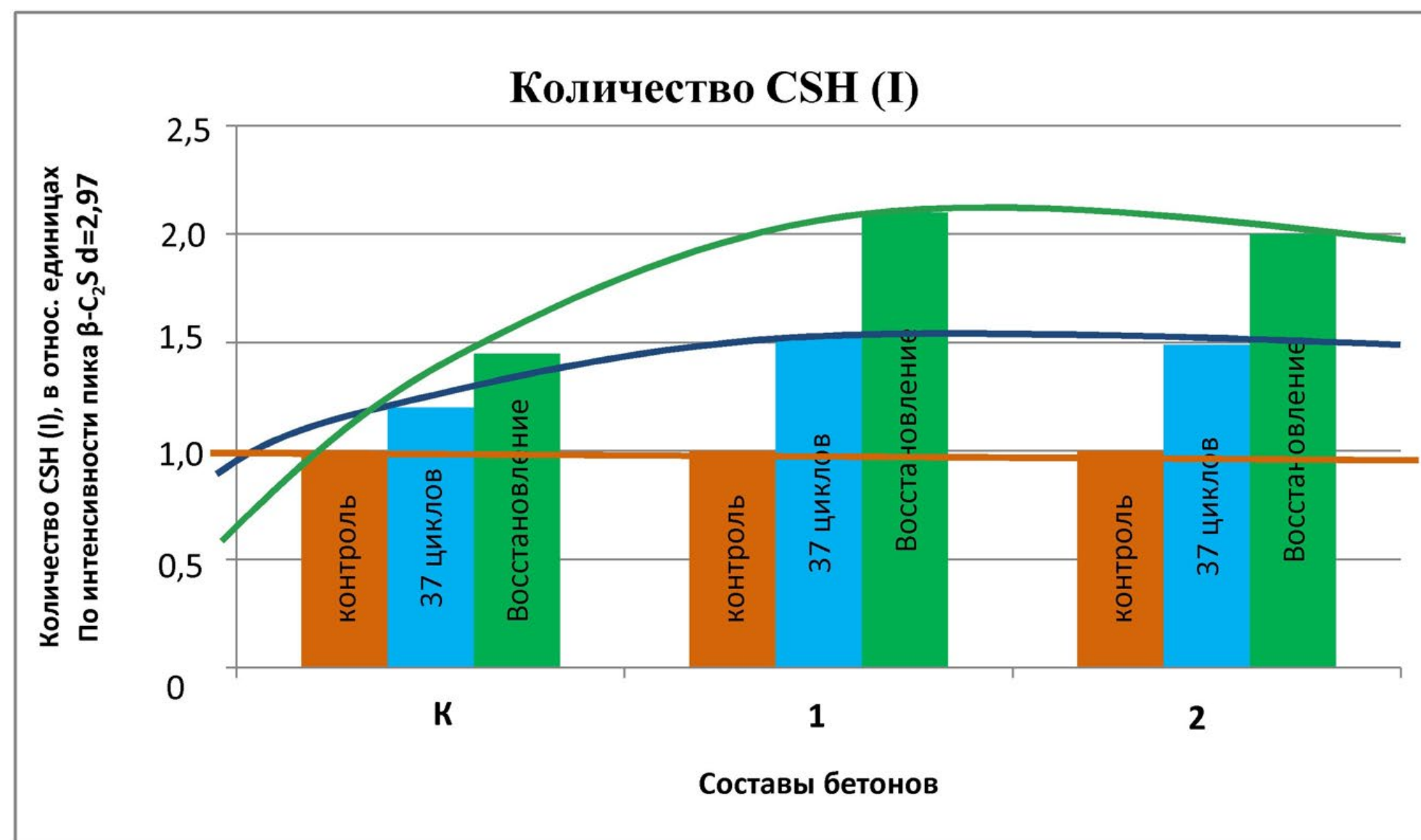
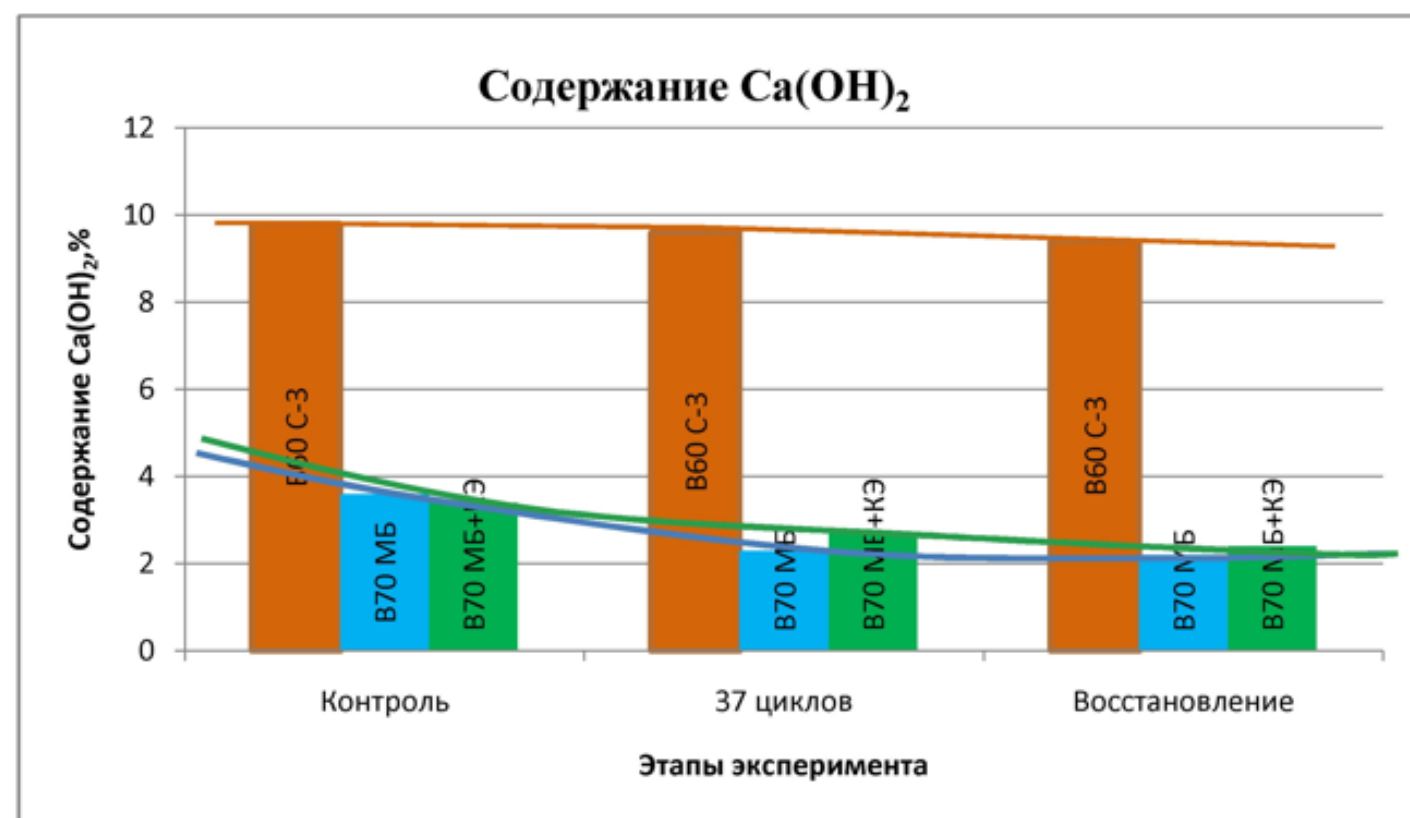
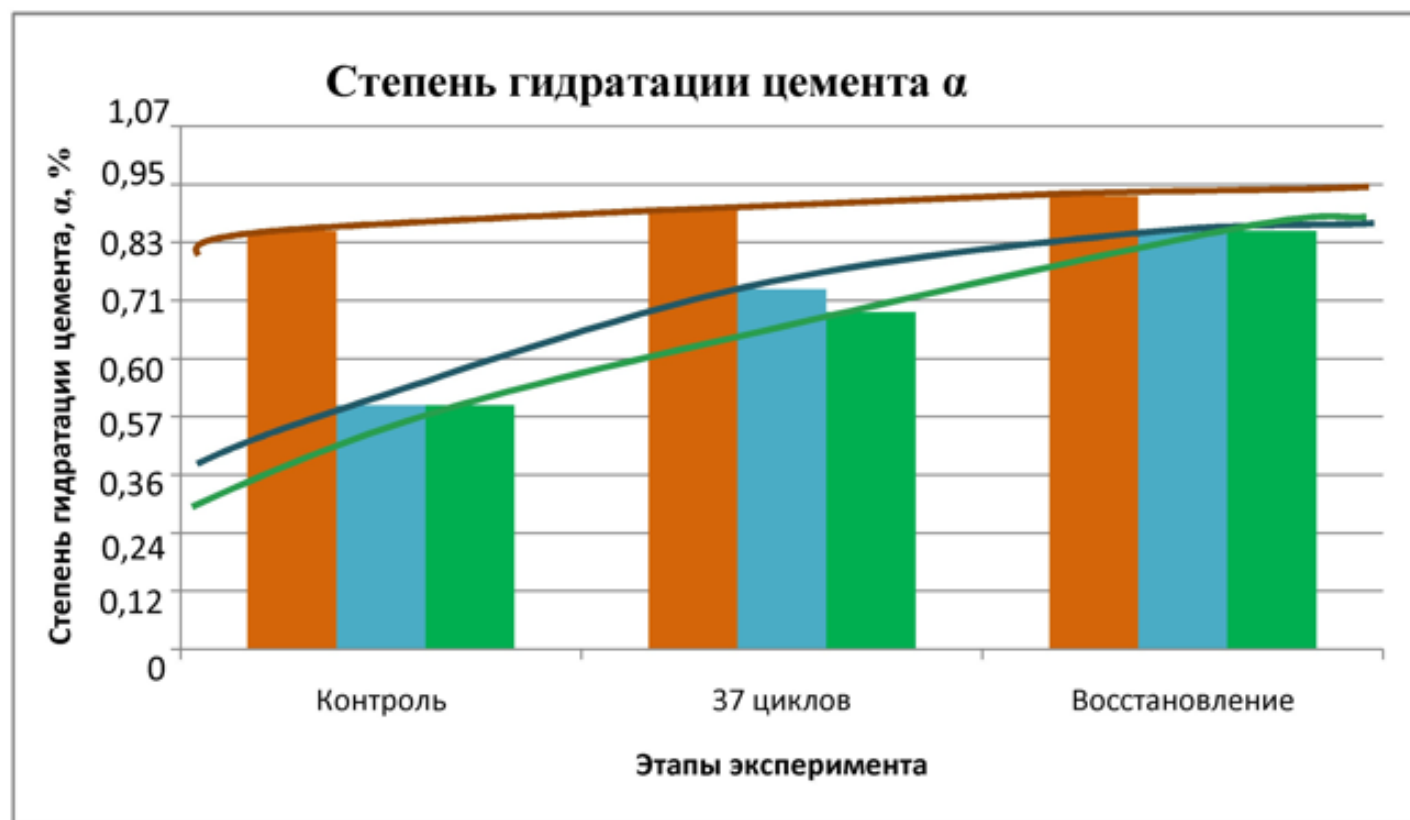


B60 C-3

B70 МБ

B70 МБ+КЭ

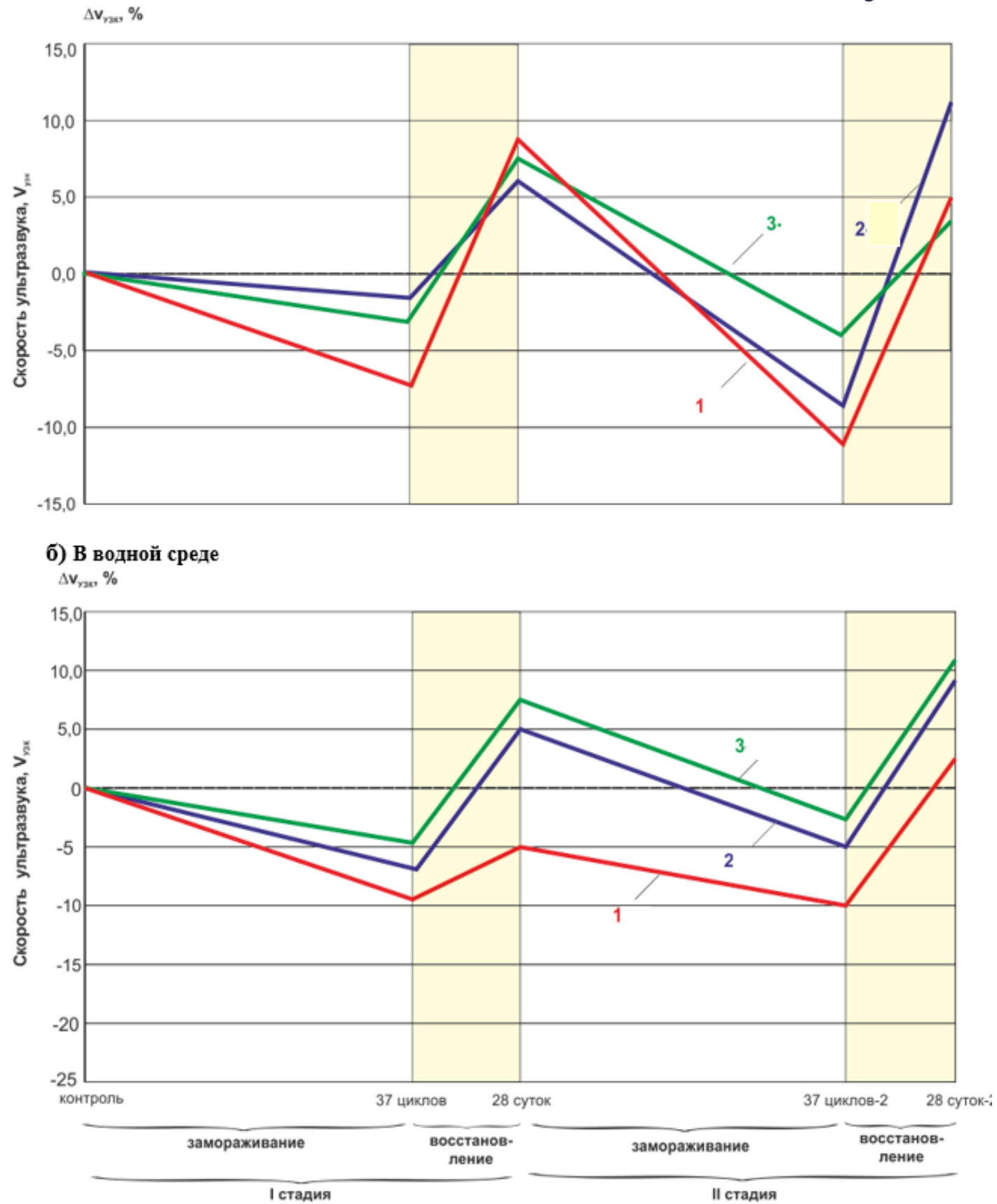
Исследование структуры бетона



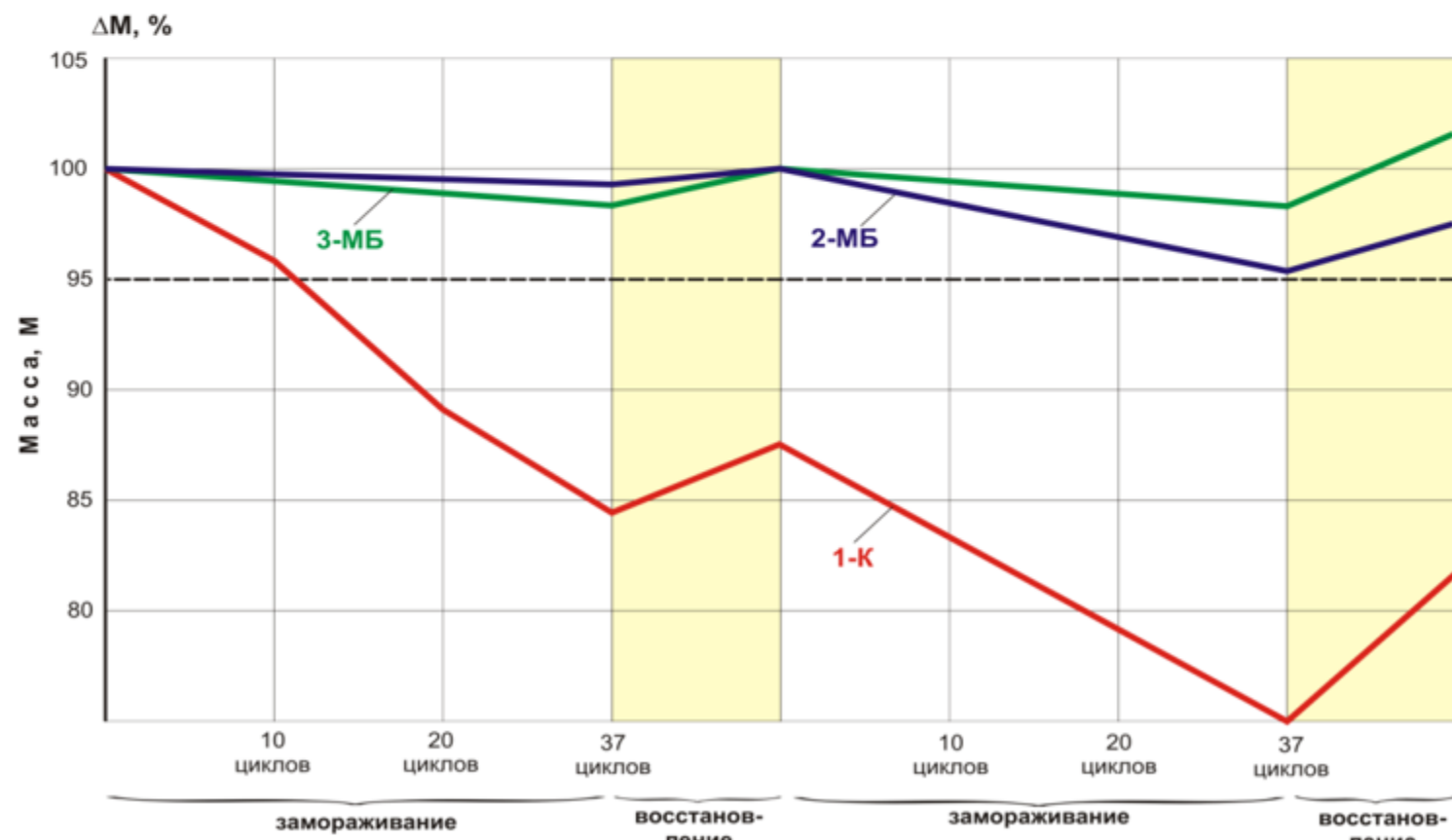
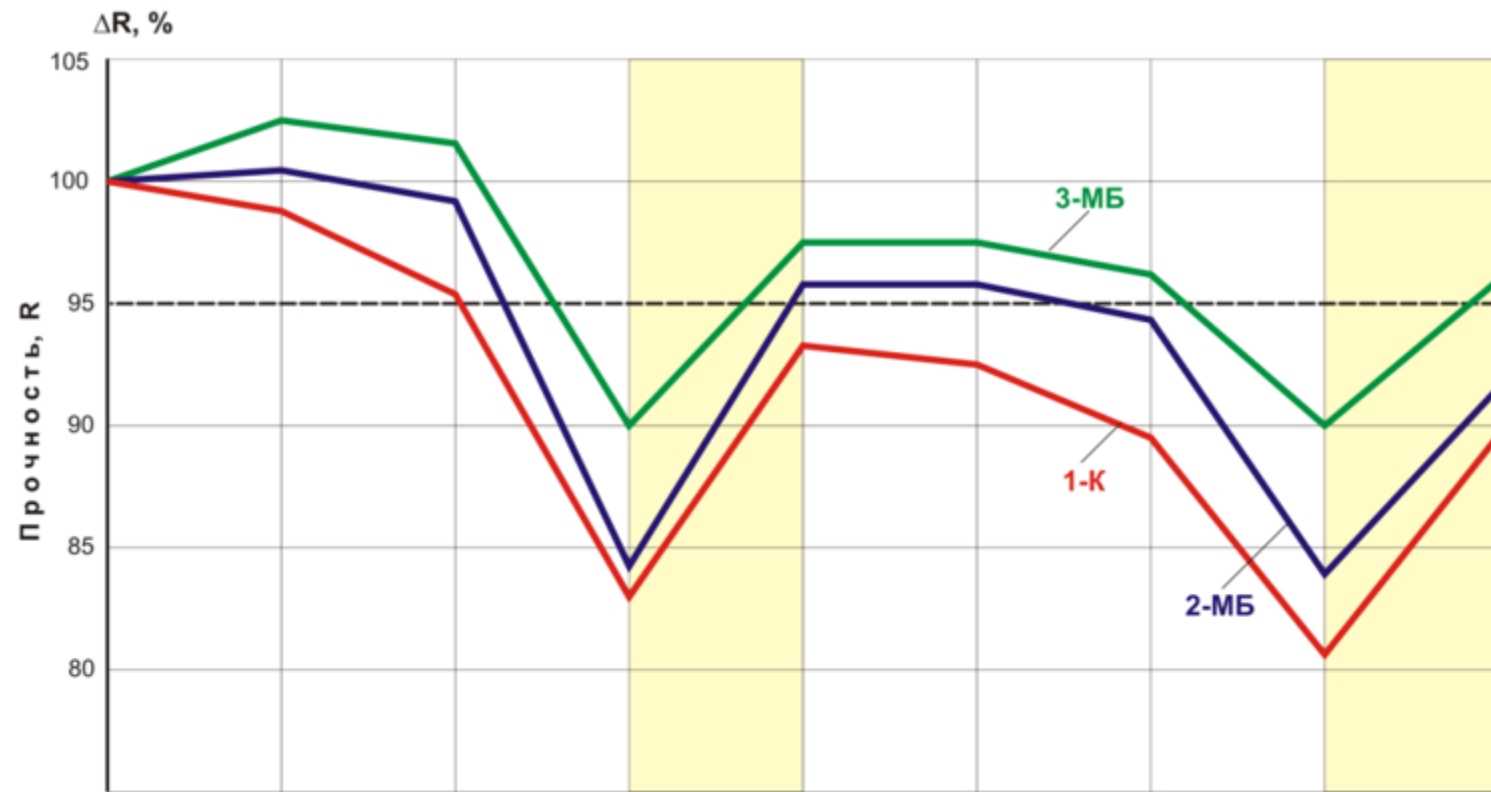
Изменение количества кристаллогидратов в цементном камне разного состава в зависимости от стадий выдерживания

Изменение степени гидратации и содержания портландита в разных бетонах в зависимости от степени его выдерживания

Изменение скорости ультразвука в бетоне при восстановлении в воздушной (а) и в водной (б) средах



Относительные значения прочности на сжатие и массы образцов при двустадийном циклическом воздействии

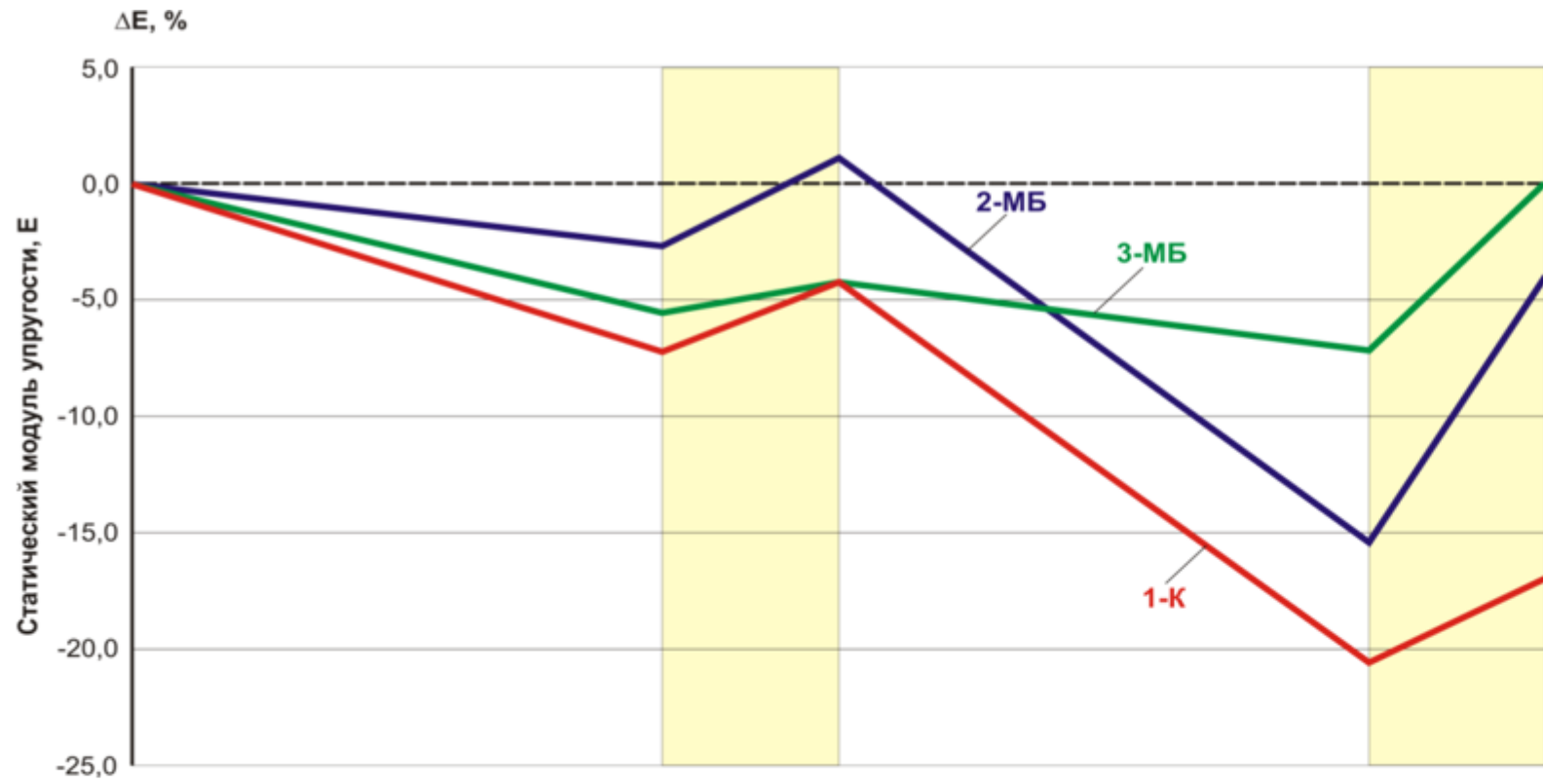


Характеристика	№ состава	I стадия		
		Д	С	
			на воздухе	в воде
Прочность при сжатии:				
кубиковая	1-К	1,22	1,07	1,12
	2-МБ	1,19	1,05	1,14
	3-МБ	1,11	1,03	1,07

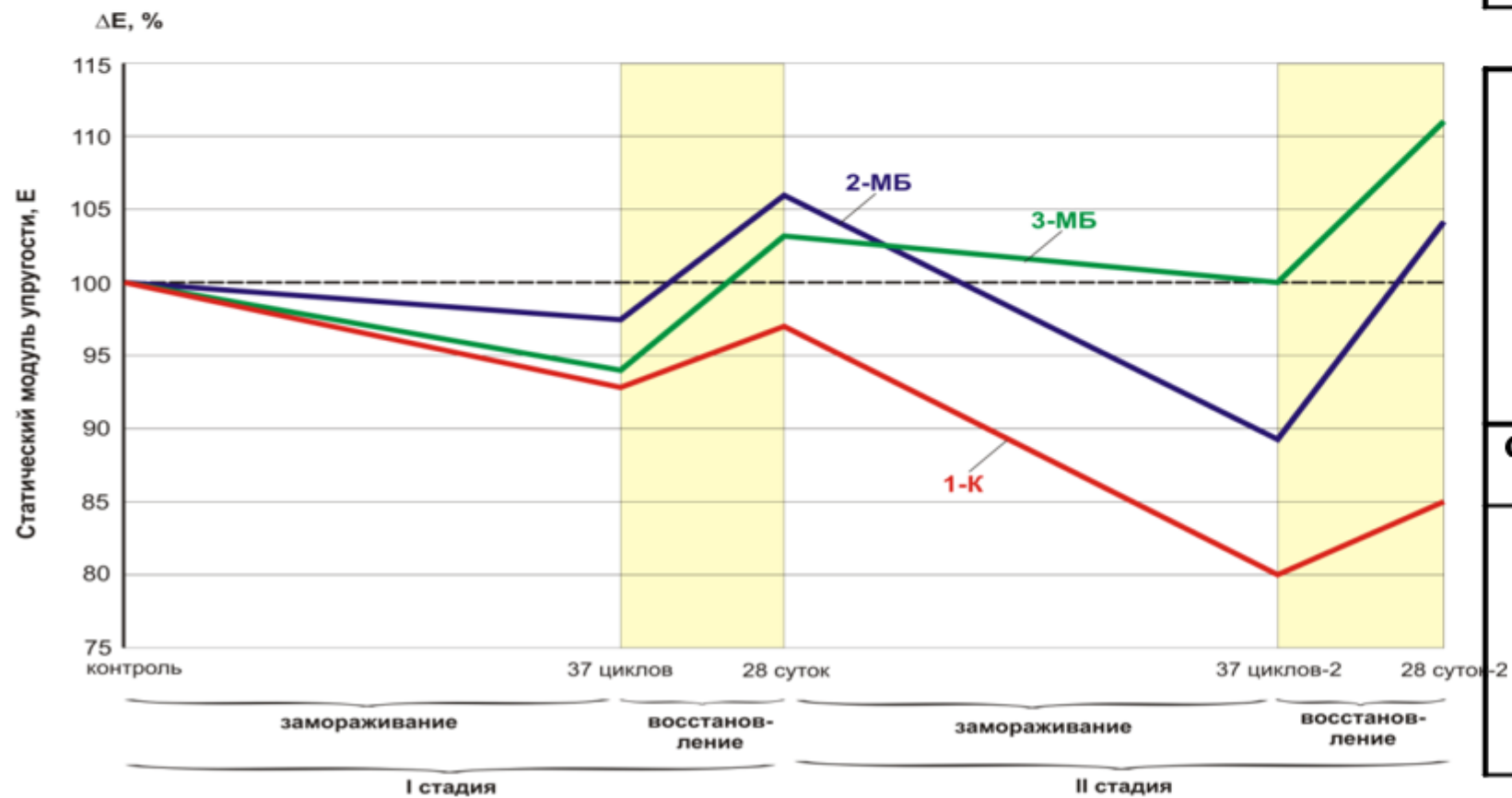
Характеристика	№ состава	II стадия		
		Д	С	
			на воздухе	в воде
Прочность при сжатии:				
кубиковая	1-К	1,19	1,04	1,04
	2-МБ	1,24	1,06	1,11
	3-МБ	1,13	1,04	1,07



Относительные значения статического модуля упругости ($\Delta E_{ст}$) при двухстадийном циклическом воздействии



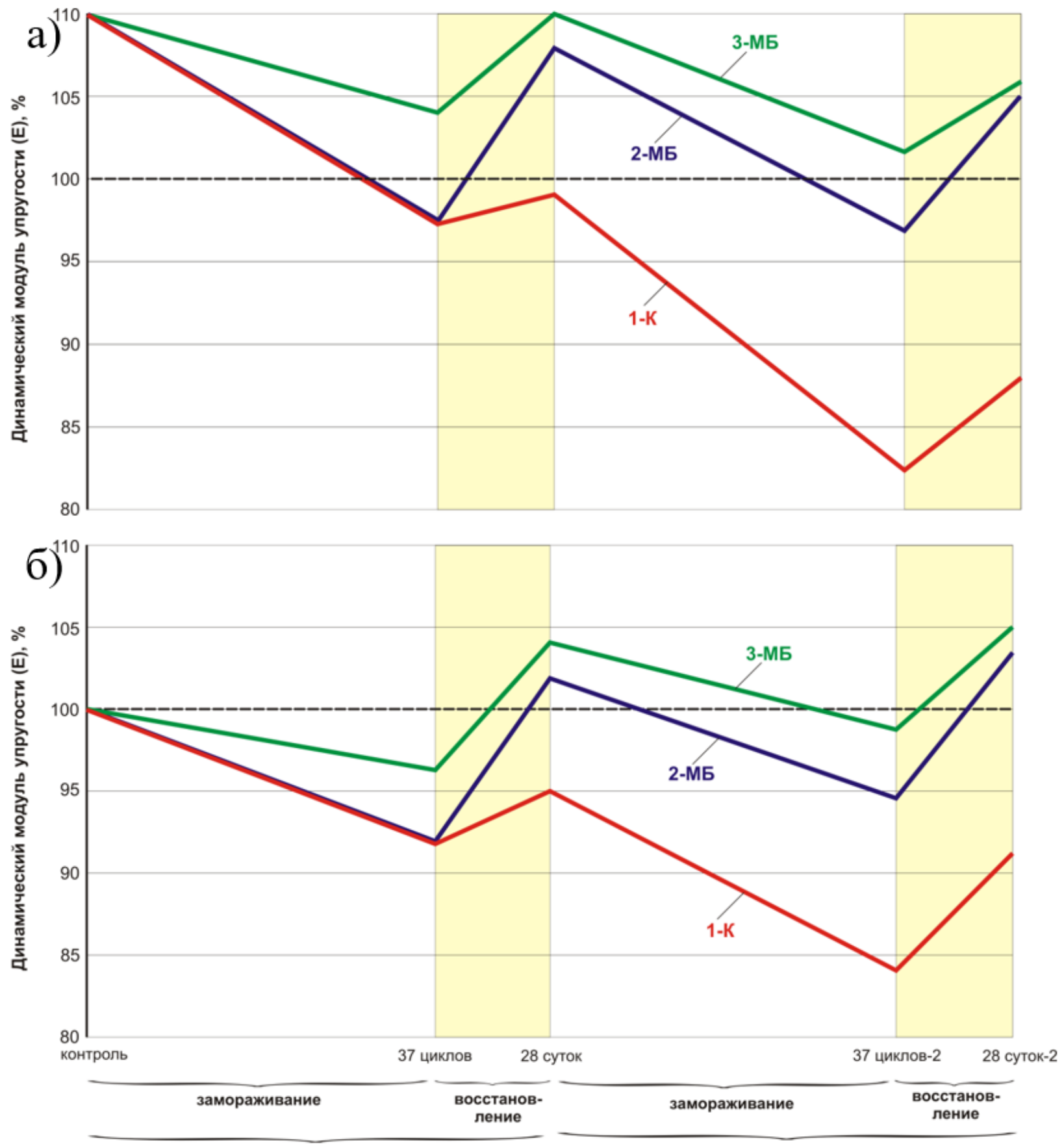
Характеристика	№ состава	I стадия		
		Д	С	
			на воздухе	в воде
Статический модуль упругости:				
	1-К	1,07	1,02	1,03
	2-МБ	1,03	1,05	1,09
	3-МБ	1,06	1,04	1,11



Характеристика	№ состава	II стадия		
		Д	С	
			на воздухе	в воде
Статический модуль упругости:				
	1-К	1,2	1,04	1,06
	2-МБ	1,2	1,11	1,17
	3-МБ	1,03	1,06	1,11



Относительные значения динамического модуля упругости ($\Delta E_{дин}$) при двухстадийном циклическом воздействии



Характеристика	№ состава	I стадия		
		Д	С	
			на воздухе	в воде
Динамический модуль упругости				
	1-К	1,13	1,02	1,02
	2-МБ	1,12	1,08	1,11
	3-МБ	1,06	1,03	1,08

Характеристика	№ состава	II стадия		
		Д	С	
			на воздухе	в воде
Динамический модуль упругости				
кубиковая	1-К	1,19	1,06	1,08
	2-МБ	1,11	1,08	1,09
	3-МБ	1,07	1,03	1,07



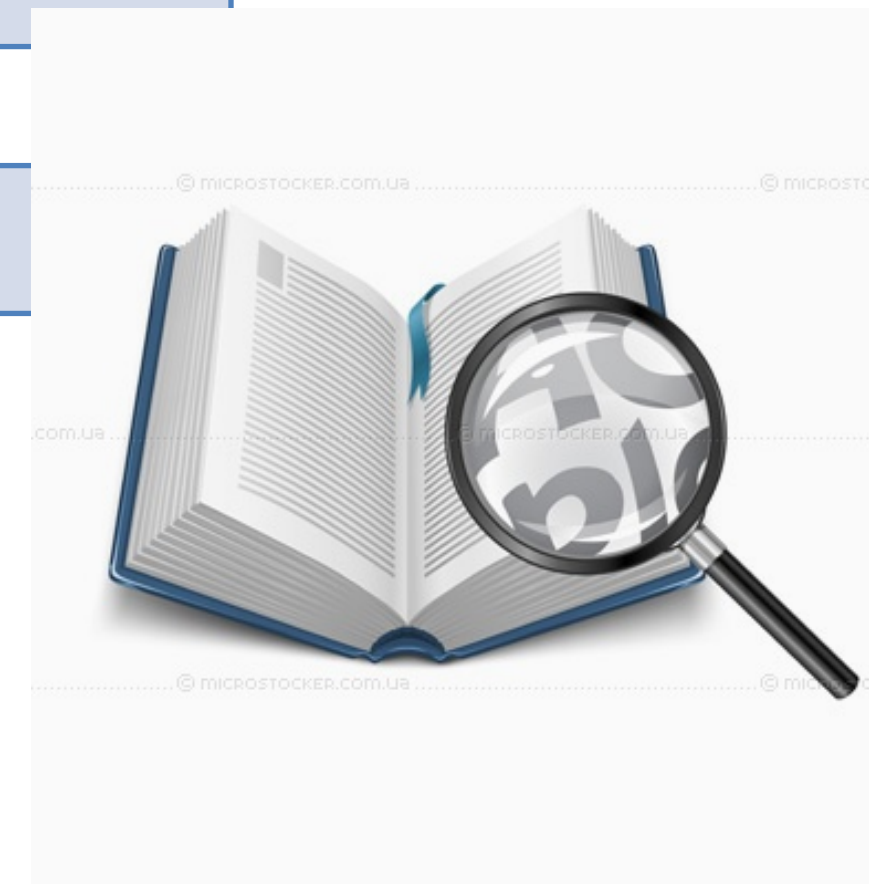
Косвенные характеристики

Прочность на растяжение при раскалывании

$$R_{\text{раск}} = 0,55R^{2/3}$$

Трещиностойкость – по коэффициенту условной
растяжимости $\epsilon_y = R_{\text{раск}} / E_{\text{дин}}$

Прочность при растяжении при изгибе $R_{\text{р.и.}} = 0,8R^{2/3}$



Методика оценки ресурса эксплуатации конструкции при знакопеременном воздействии

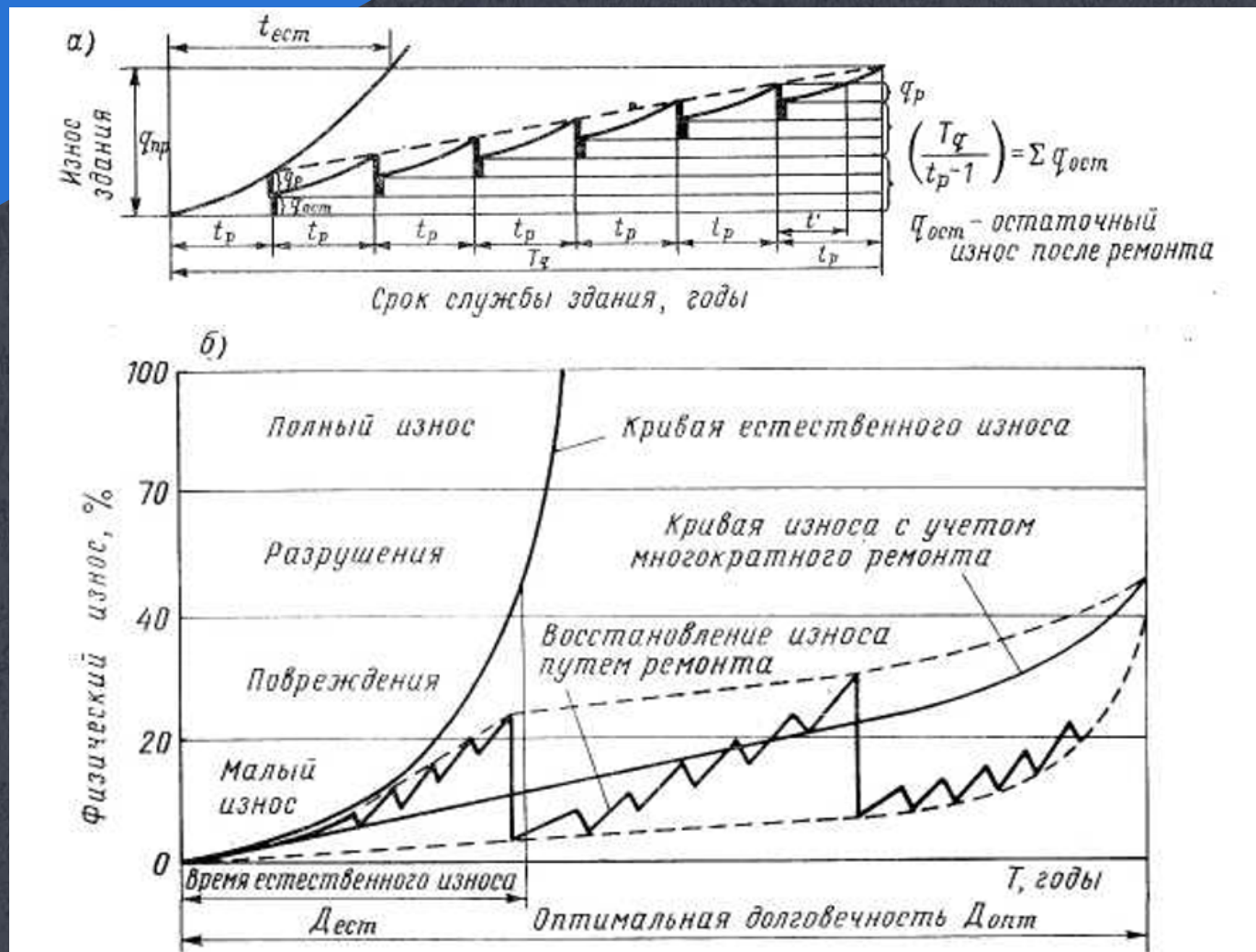
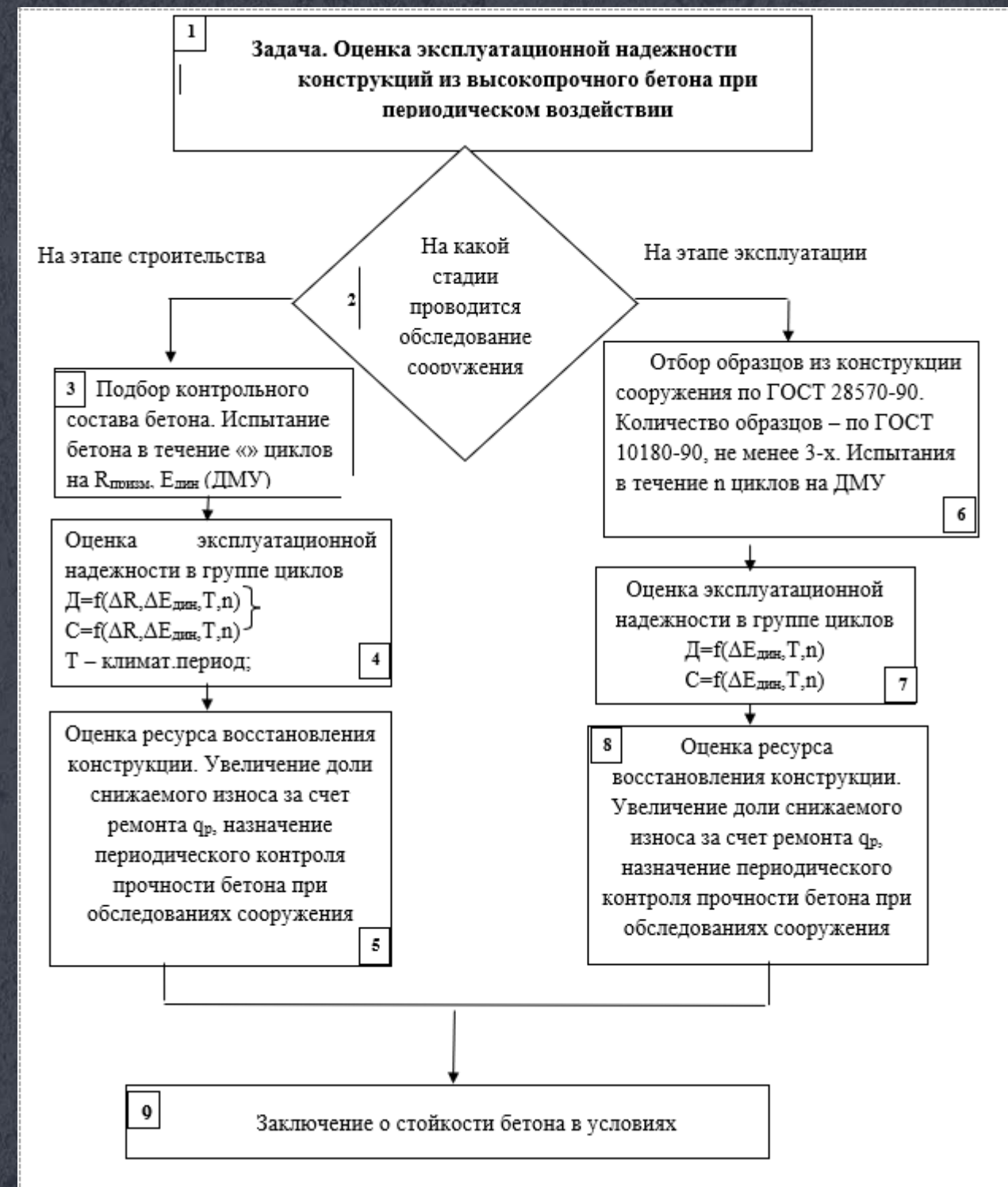


Рис. 5.2.2. Виды износа и его возмещение путем проведения периодических ремонтов (а), виды износа и оптимальная долговечность зданий (б)



Экономический эффект

Оценка состояния сооружения после морозной деструкции методами неразрушающего контроля (скорость ультразвука, динамический модуль) – низкая стоимость испытаний

Снижение затрат на ремонт – повышение межремонтного периода эксплуатации

Оценка эксплуатационных характеристик по степени деструкции/самозалечивания – методика позволяет коррелировать простые испытания по ГОСТ с рядом показателей качества бетона

Эффективное и рациональное использование энергосберегающих технологий при производстве бетонов за счёт применения добавок на основе микрокремнезема и золы-уноса



ИНСТРУКЦИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Общие положения

Материалы и требования к ним

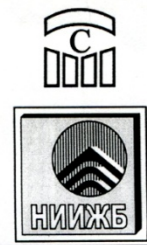
Эксплуатационные свойства и методы их определения

Применение рекомендаций по надежности мостовых конструкций

Техника безопасности и охрана труда

Оценка ресурса эксплуатационной надежности конструкции

Внедрение результатов работы



ГОССТРОЙ РФ
ОАО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ, ПРОЕКТНО-
КОНСТРУКТОРСКИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА имени А.А. ГВОЗДЕВА



УТВЕРЖДАЮ:
Директор НИИЖБ, д-р техн.наук
А.Н.Давидюк
2013 г.

ИНСТРУКЦИЯ

ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

СОГЛАСОВАНО:

ООО «Лаборатория по контролю качества
строительных материалов и конструкций в
мостостроении» канд.техн.наук

А.Ю.Тарасова
2013 г.



РАЗРАБОТАНО:

Заведующий лабораторией № 16
НИИЖБ, д-р техн.наук
С.С.Каприелов
2013 г.

Инженер

А.Л.Гольденберг
2013 г.

Москва, 2013

ОДМ 218.8.8.001–2020
ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВОВ БЕТОНОВ ВЫСОКОЙ
ПРОЧНОСТИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ
И ТОНКОПОМОЛОТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ
(МИНЕРАЛЬНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА,
В ТОМ ЧИСЛЕ МОЛОТЫЙ СТЕКЛОБОЙ)
В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2022



НАЦИОНАЛЬНОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ
И СТРОИТЕЛЬНОЙ
ИНДУСТРИИ

Технический
регламент НОПСМ
«Оценка
долговечности
высокопрочных
бетонов»



ВЫВОДЫ

I. Свойства высокопрочного бетона (прочность, проницаемость, статический и динамический модули упругости), сниженные при циклическом замораживании–оттаивании, при последующем выдерживании в нормальных условиях и особенно в водной среде могут быть частично восстановлены.

II. Снижение физико-технических характеристик связано с деструктивными процессами, а восстановление – с продолжающейся в нормальных условиях гидратацией цемента, реализацией остаточного клинкерного фонда.

III. Степень деструкции модифицированного добавкой МБ-30С бетона при морозном воздействии в сравнении с обычным меньше, что является следствием повышенной прочности, связанной с особенностями фазового состава цементного камня и дисперсностью его структуры. Степень самозалечивания, напротив, выше, чем у обычного бетона, что связано с интенсивностью гидратации остаточного клинкерного фонда.

IV. Явление самозалечивания имеет затухающий характер. Его потенциал уменьшается по мере исчерпания остаточного клинкерного фонда и повышения степени гидратации, а также с интенсификацией деструктивных процессов.

V. Эксплуатационные свойства бетона с органоминеральным модификатором, подвергнутого в связи с климатическими условиями циклическому воздействию в нормальных температурно-влажностных условиях, сохраняются значительно дольше, чем у обычного бетона. Реальная долговечность бетона с органоминеральным модификатором МБ-30С при морозном воздействии выше уровня, который обычно определяется маркой бетона по морозостойкости.

ООО Институт «Стройстандарт»
Москва, Волоколамское шоссе, д 2
8 (499) 745-00-88
8 (926) 733-95-37
info@nilstroi.ru
www.nilstroi.ru



СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!

