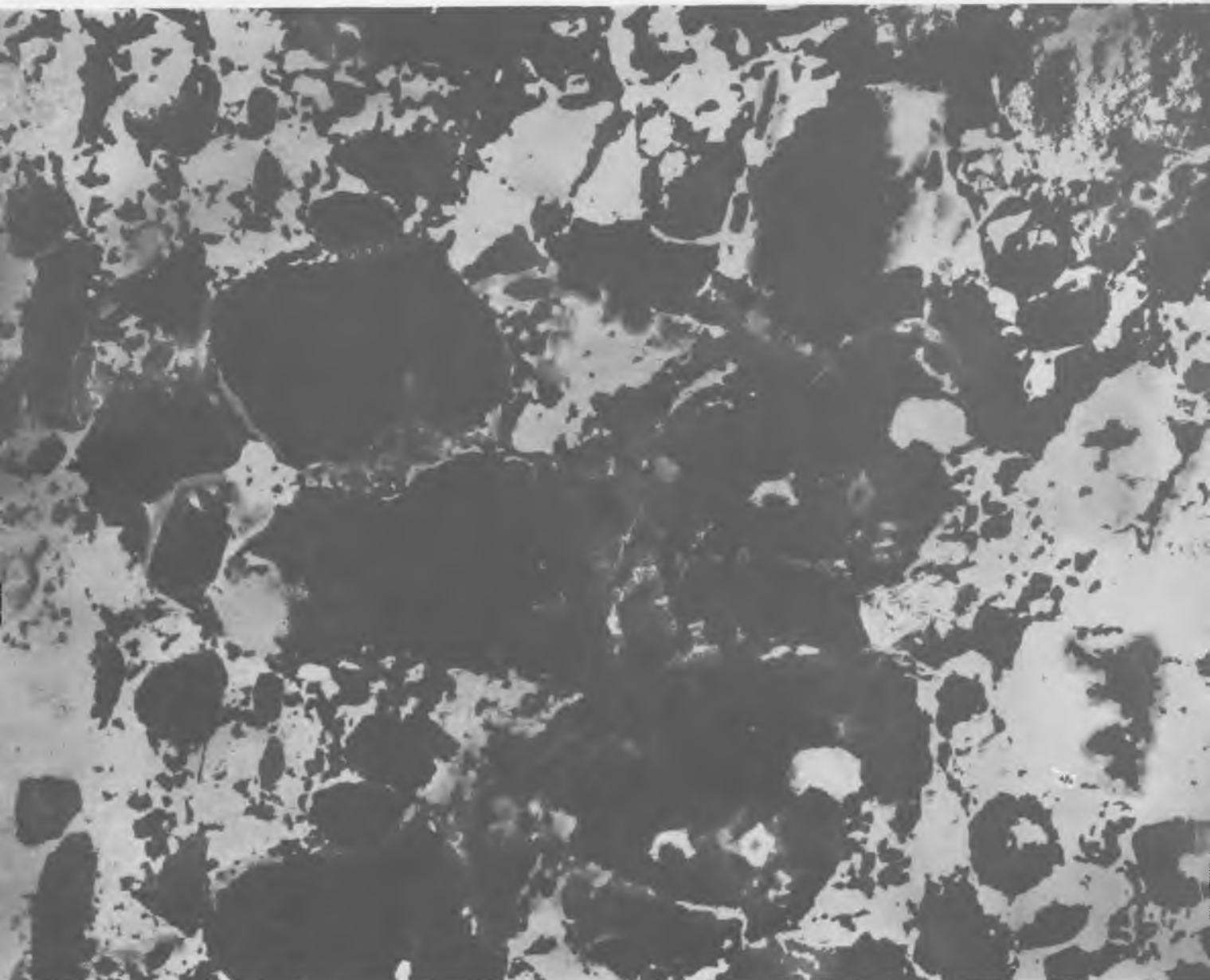


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

3
2007





Измерители плотности бетона и строительных материалов

Бетон-Frost

Измеритель морозостойкости

Ускоренное определение морозостойкости бетона dilatометрическим методом по ГОСТ 10060.3-95 по образцам - кубам или кернам. Состоит из измерительных камер и электронного блока

Время измерения, час 4 5
Количество камер, шт 1 3



Пультар-1.1/1.2

Ультразвуковой дефектоскоп

Измерение прочности, плотности и глубины трещин в изделиях и конструкциях. Анализ сигналов. А-скан, АРУ, режим осциллографа.

Диапазон измерения времени, мкс 5.0..20000
Рабочая частота колебаний, кГц 50...100



Оникс-ОС

Измеритель прочности бетона

Измерение прочности бетона отрывом со скалыванием. Исключено проскальзывание анкера, самоустановка оси вырыва. Два гидrocилиндра.

Диапазон измерения прочности, МПа 5 100
Максимальное усилие, т.с 6
Масса, кг 3,7



ТЕРЕМ-4.0/4.1

Многопараметрический регистратор

Мониторинг зданий, сооружений, технологических процессов. Измерение линейных и угловых перемещений, трещин, уклонов, усилия, напряжения, вибрации, тензозамерения, климата и т.п.

Количество каналов 4...256
Количество параметров 1 10



Спектр-2.1/2.2

Приборы диагностики свай

Локализация дефектов и определение длины свай, получение сейсмоспектрального профиля грунтов.

Количество каналов 1/2
Диапазон частот, Гц 10..22000



Оникс-2.5/2.6

Измерители прочности бетона

Принципиально новый дефектоскоп-измеритель прочности бетона с визуализацией и многофакторным анализом сигналов

Диапазон измерения прочности, МПа 0.5 100
Погрешность измерения, % 7



Контроль армирования и толщины

ПОИСК-2.5

Измеритель защитного слоя

Определение толщины защитного слоя бетона, диаметра и расположения арматуры в ж/б изделиях и конструкциях

Рабочий диапазон защитного слоя, мм 2 130
Продольная чувствительность, мм 250
Контролируемые диаметры 3 50



ИНК-2.4

Измеритель напряжений в арматуре

Измерение частотным методом напряжений в арматуре ж/б изделия и конструкции, а также параметров виброколебаний различных объектов

Диапазон измерения частоты, Гц 5 100
Диапазон напряжений, МПа 50...2000



МТП-1

Толщиномер покрытий

Контроль толщины теплоизоляционных покрытий на стальных трубах межосевого смещения трубы и оболочки

Диапазон измерения толщины, мм 1 и 2
Диаметры стальных труб, мм 57...1220



Предприятие также выпускает: плотномеры асфальтобетона ПАБ-1.0 и грунтов ДПГ-1, измерители теплопроводности ИТС-1 и МИТ-1, адгезиметры ОНИКС-АП, универсальные влагомеры ВИМС-2, виброметры ВИСТ-2.4/3.0, виброанализаторы ВИБРАН-2.0/3.0, вихретоковые дефектоскопы ВДЛ-5.2, регистраторы тепловых потоков ТЕПЛОГРАФ, термогигроанемометры ТЕМП-3, датчики, сервисные компьютерные программы и другую продукцию.



Приборы сертифицированы, малогабаритны, имеют легкие и удобные датчики, сервисные программы

г.Челябинск: т./ф.: (351) 262-91-70, 262-91-69, 265-56-38 454080, г.Челябинск, а/я 12771
г.Москва: т./ф.: (495) 174-75-13, 789-28-50 454048, г.Челябинск, ул.Витебская,4
г.С-Петербург: т./ф.: (812) 570-64-96, 590-60-66

www.interpribor.ru
info@interpribor.ru,
interpribor@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БЕТОНЫ

БАШЛЫКОВ Н.Ф., МАЙОРОВА И.И., СЕРЫХ Р.Л. Комплексные полифункциональные добавки на основе тиосульфата и роданида натрия для бетонов массового применения	2
ЖУКОВ В.В., ХАДЖИШАЛАПОВ Г.Н. Жаростойкий теплоизоляционный бетон и блок для устройства теплоизоляции лайнера ядерного реактора нового поколения	7
ТОТУРБИЕВ Б.Д., ТОТУРБИЕВ А.Б., АЛХАСОВ М.А. Жаростойкие бетоны на безводных силикатах натрия	9
ПОДЛАСОВА И.А., ГУСАКОВ А.М., ШАРПЕНКОВ А.А. Прогнозирование влажности свежееуложенного бетона конструкций, остывающих в зимних условиях	12
СОЛОВЬЕВА В.Я., СТЕПАНОВА И.В., ЕРШИКОВ Н.В., КОРОБОВ Н.В., СТАРЧУКОВ Д.С. Проектирование высокопрочного бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками	16
ДЬЯКОВ К.В. Особенности технологии приготовления магнезиального базальтофибробетона	18

АРМАТУРА

СЛЫШЕНКОВ С.О. Хладостойкая арматура для железобетонных конструкций	19
---------------------------------------------------------------------------	----

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

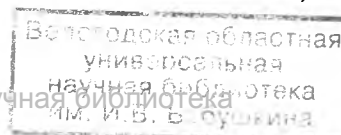
ГАЛУСТОВ К.З. Учет ползучести бетона при расчете железобетонных конструкций современных АЭС	22
ПОПЕСКО А.И., АНЦЫГИН О.И., ДАЙЛОВ А.А. Численный расчет железобетонных стержней при коррозионных воздействиях	25

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

ЯГУПОВ Б.А., МИГАЛЬ РЕ. К вопросу оценки несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций, поврежденных коррозией	28
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

К 60-летию Б.Д.ТОТУРБИЕВА	31
---------------------------------	----



*Н.Ф. БАШЛЫКОВ, канд. техн. наук, И.И. МАЙОРОВА, инж. (НПЦ «ПолуРелакС»);
Р.Л. СЕРЫХ, д-р техн. наук, проф. (МАДИ)*

Комплексные полифункциональные добавки на основе тиосульфата и роданида натрия для бетонов массового применения

Важной задачей развития технологии бетона является разработка технических и технологических решений, обеспечивающих надежность и долговечность конструкций и сооружений, а также промышленная реализация этих решений. Требования к бетонам и к их эксплуатационным характеристикам с учетом надежности и долговечности, на наш взгляд, в наиболее полной мере отражены в европейском стандарте на бетон EN 206-1, введенном в действие в 2000 г. В общем случае, в соответствии с этим стандартом требования должны назначаться исходя из необходимости обеспечения срока надежной эксплуатации бетона в конструкции или сооружении не менее 50 лет. По нашему мнению, в обеспечении такого жесткого минимального срока эксплуатации для бетонов массового применения, наряду со многими техническими и технологическими факторами, существенная и весьма значительная роль принадлежит комплексным полифункциональным добавкам.

В настоящей статье приведены результаты исследований по созданию серии комплексных полифункциональных добавок на основе электролитов – промышленной смеси балластных солей на основе тиосульфата и роданида натрия, получаемых при многоступенчатой переработке продуктов сероочистки коксового газа и ряда поверхностно-активных веществ.

Авторы классических работ [1, 2] среди всех видов и классов комплексных добавок полифункционального действия особое внимание уделяют добавкам, содержащим электролиты и органические поверхностно-активные вещества. В [1] подчеркнута, что вывод о целесообразности сочетания электролитов с гидрофилизирующими ПАВ, вытекающий из теоретического анализа механизма их совме-

стного действия и проявляющийся в улучшении ряда свойств бетонных смесей и бетонов, распространяется на многие комбинации таких добавок.

В контексте настоящей статьи представляют интерес сочетания смесей на основе тиосульфата и роданида натрия с гидрофилизирующими ПАВ, выпуск которых освоен в промышленных объемах. В первую очередь в число таких ПАВ входят добавки на основе полиметиленаполинафталинсульфонатов в виде суперпластификатора С-3, лигносульфонатов и модифицированных добавок на их основе, солей полигидрооксикарбоновой кислоты, солей многоосновных органических кислот и, в частности, бутилдикарбоновой кислоты, природных и синтетических углеводов и их производных, олигомерных аминокислот и ряд других веществ, а также их отдельные сочетания. И, наконец, несомненный интерес представляют добавки новой генерации на основе поликарбоксилатов и эфиров акрилатов.

По нашим данным, композиции электролитов на основе тиосульфата и роданида натрия и всех из перечисленных выше органических ПАВ, а также их некоторых сочетаний представляют весьма значительный интерес, но эффективность их действия на бетонную смесь и бетон различна. Достаточно широко исследованы композиции на основе тиосульфата и роданида натрия с продуктами на основе полиметиленаполинафталинсульфонатов, лигносульфонатов и их сочетаний. Такие комплексные полифункциональные добавки производятся в промышленном масштабе и хорошо себя зарекомендовали. Имеются экспериментальные данные и осуществляется ограниченный выпуск добавок из смеси на основе тиосульфата и роданида натрия и солей полигид-

роксикарбоновой кислоты в виде продукта алдольной конденсации формальдегида, а также с олигомерными аминокислотами на основе продукта обработки коллагена.

Проведены экспериментальные исследования систем, содержащих тиосульфат и роданид натрия, а также продукты на основе поликарбоксилатов и эфиров акрилатов, и установлено, что на их основе могут быть получены комплексные полифункциональные добавки, превосходящие по своей эффективности те, что применяют в настоящее время.

Перспективные экспериментальные данные получены при исследовании композиций из тиосульфата и роданида натрия и природных углеводов в виде побочных продуктов сахарного и спиртового производств. Столь же хорошая перспектива следует из экспериментальных данных, полученных при исследовании сочетаний указанных солей и композиций, содержащих олигомерные аминокислоты, полиметиленаполинафталинсульфонат и лигносульфонат, а также олигомерные аминокислоты, лигносульфонаты и поликарбоксилаты или эфиры акрилатов.

Из приведенного следует, что, комбинируя смеси на основе тиосульфата и роданида натрия с различными ПАВ и изменяя, в зависимости от назначения, сочетания и соотношения компонентов, а также дозировку добавок, можно успешно использовать их в монолитном строительстве при положительных и отрицательных температурах и при изготовлении конструкций с применением или без применения тепловлажностной обработки.

В настоящее время в РФ добавки на основе тиосульфата и роданида натрия применяются под торговой маркой "Релаксол" по ТУ 5870-001-75215422-05. Кроме указанных солей, он содержит ста-

билизирующие и, при необходимости, модифицирующие компоненты. «Релаксол» применяется индивидуально как комплексная добавка и используется для изготовления комплексных полифункциональных добавок. Серийно изготавливаются на лицензионной основе суперпластификаторы – ускорители твердения «С-3Р», «Реламикс» и суперпластификатор «Полипласт СП-3». Все эти добавки являются комплексными и полифункциональными. Их действие на бетонную смесь и бетон достаточно подробно описано в специальной литературе, в технической информации изготовителей и в общероссийском строительном каталоге СК-4.43, выпуск 1.

В соответствии с классификацией, приведенной в [1], «Релаксол» следует рассматривать как комплексную добавку первой категории, представляющую собой смесь добавок первого класса – электролитов, изменяющих растворимость клинкерных минералов. Характерным для таких добавок является существенное ускорение кинетики твердения цементных систем без изменения или с замедлением времени схватывания бетонной смеси. Механизм действия смесей электролитов одного класса в принципиальном отношении почти ничем не отличается от механизма действия индивидуальных добавок.

Механизм действия индивидуальных добавок тиосульфата и роданида натрия, как ускорителя твердения бетона, достаточно подробно раскрыт в [2, 3]. В [4] на основании анализа многочисленных литературных и патентных источников обобщены данные по влиянию тиосульфата и роданида натрия на свойства бетонной смеси и бетона, а также приведены сведения об их промышленном применении в технологии бетона.

В значительном числе публикаций, посвященных изучению влияния тиосульфата и роданида натрия, следует выделить работу [5], в которой приведены результаты исследования особенностей структурообразования при твердении портландцемента с индивидуальными добавками тиосульфата и роданида натрия, а также процессов гидратации и твердения мономинералов C_3A и C_3S с этими добавками. Установлено, что введение указанных добавок повышает степень гидратации и раннюю прочность

алитового камня на 30-50 %. Прочность мономинерального камня C_3A увеличивается в раннем возрасте в 2,0-2,5 раза, а в возрасте 28 сут — в 3-4 раза. Из этого следует, что тиосульфат и роданид натрия способствуют существенной интенсификации твердения и возрастанию прочности алитовой и алюминатной фаз.

В [5] показано, что индивидуальные добавки тиосульфата и роданида натрия повышают раннюю прочность портландцементного камня, при этом наблюдается незначительный пластифицирующий эффект, вызывающий уменьшение количества воды затворения. Эти добавки способствуют увеличению вододерживающей способности цементного камня, что обеспечивает равномерное протекание процессов гидратации портландцемента в нормальных и воздушно-сухих условиях, а также уменьшает возможность возникновения деформаций, которые связаны с влаготерями в начальный период твердения.

В этой же работе показано наличие «порога эффективности» для указанных добавок, определение которого приведено в [1]. Для «Релаксола» этот «порог», как правило, не превышает 0,8-1,5 % массы цемента. Минимальное значение дозировки добавки, заметно влияющее на кинетику твердения, для «Релаксола» составляет 0,2-0,4 % массы цемента.

В экспериментальных работах, проведенных нами в 2001-2006 гг., преимущественно применялся портландцемент ПЦ 500 Д0 Староскольского цементного завода, природный песок с $M_{кр}$ 2,1-2,3, щебень из изверженных пород фракции 5-10 мм, соответствующие требованиям действующих стандартов. Бетонные смеси отвечали требованиям ГОСТ 30459 для контрольных стандартных и основных составов. Добавки вводили в бетонную смесь в виде водных растворов вместе с водой затворения, а их дозировка устанавливалась в пересчете на сухое вещество. При испытаниях бетонной смеси определяли ее среднюю плотность, подвижность по осадке конуса, сохраняемость первоначальной подвижности, содержание вовлеченного воздуха. Прочность бетона на сжатие определяли в возрасте 1, 2, 3, 7 и 28 сут и, в необходимых случаях, после термобработки. Так же, в необходимых

случаях, определяли жесткость бетонной смеси, водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Все испытания и измерения проводили в соответствии с требованиями действующих стандартов.

В табл. 1 приведены результаты исследования влияния добавки «Релаксол» на бетонную смесь и бетон. Из нее следует, что «Релаксол» оказывает на бетонную смесь слабое пластифицирующее или водоредуцирующее действие, повышает количество вовлеченного воздуха в бетонной смеси на 1,3-1,7 %, а также в определенной степени повышает ее сохраняемость. При неизменных расходах цемента и воды прочность бетона с добавкой «Релаксол», изготовленного из бетонной смеси П2, в ранние сроки возрастает на 25-31 %, а в 7-28 сут – на 6-8 %. При водоредуцировании и неизменной подвижности П1 прочность бетона в возрасте 1-3 сут увеличивается на 41-53 %, в 7-28 сут – на 17-18 %. При одинаковых расходах цемента и воды прочность бетона с «Релаксолом», изготовленного из бетонной смеси П4, в возрасте 1-3 сут возрастает на 30-34 %, а в 7-27 сут – на 10-12 %. При уменьшенном расходе воды и неизменной подвижности П3 ранняя прочность возрастает на 50-55 %, а в возрасте 7-28 сут – на 17-20 %. Высокая прочность бетона в ранние сроки твердения позволяет интенсифицировать производство монолитных бетонных работ – при твердении в нормальных условиях прочность бетона из смеси П3 в возрасте 2-3 сут достигает 62-82 % прочности контрольного бетона без добавки в проектном возрасте.

Показатели долговечности (морозостойкость и водонепроницаемость) также увеличиваются. Это связано, в первую очередь, с формированием улучшенной поровой структуры цементного камня под влиянием добавки «Релаксол». Как показано в обзоре [4], введение индивидуальных добавок тиосульфата и роданида натрия способствует уменьшению размеров капиллярных пор с одновременным увеличением количества гелевых пор. К такому же выводу приходят авторы работы [6], в которой приведены результаты исследования поровой структуры цементного камня с добавкой «Релаксол» методом термoporометрии.

После термовлажностной обработки прочность бетона с добав-

Таблица 1

№ п.п.	Содержание добавки, % массы цемента	В/Ц	ОК, см	Сохраняемость подвижности, ч	Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, %	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте сут, нормального хранения					Марка бетона по морозостойкости, F	Марка бетона по водонепроницаемости, W
						1	2	3	7	28		
1	—	0,58	3	—	1,7	6,4	12,6	16,8	25,7	31,9	300	6
2	1	0,58	6	—	3,2	8,4	15,7	21,8	27,3	34,4	—	—
3	1	0,55	3	—	3,1	9,8	17,9	23,7	30,4	37,5	400	10
4	—	0,67	12,5	1,5	1,8	5,8	11,4	14,1	22,3	28,1	200	4
5	1	0,67	16,5	2	3,2	7,7	15,2	18,3	24,9	30,8	—	—
6	1	0,63	13	2	3,3	9	17,5	21,2	26,9	32,9	300	8

Примечание: Расход цемента – 350 кг/м³; определение объема вовлеченного воздуха – по ГОСТ 10181 компрессионным методом; испытания на морозостойкость – по ГОСТ 10060.2 по 3-му методу, на водонепроницаемость – по ГОСТ 12730.5 по методу «мокрого пятна»

кой «Релаксол» возрастает на 40-44 % по сравнению с прочностью бетона без добавки (табл. 2). Величина прочности бетона с добавкой «Релаксол» сразу после ТВО равна или несколько превышает прочность бетона без добавки в проектном возрасте. В возрасте 28 сут прочность пропаренного бетона с добавкой увеличивается в среднем на 20 % по сравнению с прочностью бетона без добавки. Значительно возрастает водонепроницаемость бетона с добавкой.

При снижении максимальной температуры ТВО на 30-35 °С или при сокращении общей продолжительности ТВО на 4 ч, но при температуре прогрева 80 °С прочность бетона с добавкой «Релаксол» после пропарки составляет 70-80 % прочности бетона без добавки в проектном возрасте. По нашим расчетам, сокращение энергетиче-

ских затрат на ТВО составляет при снижении максимальной температуры прогрева – 25-30 %, а при сокращении общей продолжительности ТВО – 40-45 %. При необходимости сохранения неизменных показателей прочности и параметров ТВО в составах бетона с добавкой «Релаксол» расход цемента может быть снижен на 10-15 %.

Приведенные в табл. 2 результаты свидетельствуют о том, что при применении добавки «Релаксол» в технологии сборного железобетона могут быть существенно оптимизированы процессы тепловлажностной обработки или сокращен расход цемента. Невысокая пластифицирующая способность в сочетании со значительным увеличением прочности бетона после термообработки позволяет также рекомендовать эту добавку в технологии с применением жестких

смесей – например, при изготовлении многоспустотных плит перекрытий и покрытий, вибропрессованных изделий.

В работе [7] приведены данные об эффективности добавки «С-3Р», состоящей из тиосульфата, роданида натрия и суперпластификатора С-3, и ее полного аналога «Реламикса», и их влиянии на свойства бетонной смеси и бетона, а также рассмотрены некоторые вопросы механизма их действия. В дополнении к опубликованным в этой работе предварительным данным по морозостойкости и водонепроницаемости бетона с этими добавками в дальнейшем нами разработаны составы бетона, имеющие марки по морозостойкости F500 – F600 и по водонепроницаемости W18 и более, при расходе портландцемента 350-400 кг/м³ и дозировках добавки «С-3Р» («Реламикс»)

Таблица 2

№ п.п.	Содержание добавки, % массы цемента	Расход цемента*, кг/м ³	В/Ц	Удобукладываемость		Термовлажностная обработка		Прочность на сжатие, МПа		Марка по водонепроницаемости, W
				ОК, см	жесткость, с	общая продолжительность, ч	максимальная температура, °С	после ТВО	в возрасте 28 сут	
1	—	375	0,57	8	—	13	80	23,8	30,9	6
2а						13	80	34,3	37,1	10
2б	0,8	375	0,55	8,5	—	13	50	23,2	37,8	12
						9	80	22,6	36,8	—
3	1	340	0,52	9	—	13	80	24,8	30,1	10
4	—	310	0,52	—	12	13	80	21,6	30,2	—
5а						13	80	30,3	36,9	—
5б	1	310	0,5	—	11	13	45	21,4	37,2	—
						9	80	23,8	35,4	—
6	1	270	0,54	—	12	13	80	21,8	32,2	—

* портландцемент ПЦ 500 Д0 Белгородского цементного завода.

0,6-1,0 % массы цемента. Эти результаты подтверждены испытаниями, проведенными в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБа.

Суперпластификатор «Полипласт СП-3» изготавливается из смеси полиметиленафталинсульфоната, лигносульфоната и балластных солей на основе тиосульфата и роданида натрия. По своему влиянию на свойства бетонной смеси и бетона он является практически полным аналогом известного суперпластификатора С-3, обладая высокой пластифицирующей и водоредуцирующей способностью. При водоредуцировании за счет значительного снижения величины В/Ц и улучшения поровой структуры существенно возрастают показатели морозостойкости и водонепроницаемости. За счет применения этой добавки может быть достигнуто снижение расхода цемента без ухудшения прочностных и других показателей бетона. Наличие в составе комплексной добавки лигносульфоната повышает сохраняемость первоначальной подвижности бетонной смеси.

Как показано в работе [1], при введении в бетонную смесь комбинации добавок электролита (ускорителя твердения) и гидрофилизирующих ПАВ (лигносульфоната) не обнаруживается их синергетического действия на реологические свойства бетонной смеси и показатели бетона, присущего тем же электролитам и полиметиленафталинсульфонатам. Но в нашем случае (при комбинации: смесь на основе тиосульфата и роданида натрия – лигносульфонат – суперпластификатор С-3) удается подобрать такое соотношение этих веществ, при котором преимущества каждого из них проявляются в максимальной мере. Это сочетание электролита и ПАВ различного вида позволяет сократить расход дефицитного и дорогостоящего суперпластификатора С-3 и за счет этого существенно снизить общую стоимость комплексной добавки при сохранении ее высокой эффективности.

Влияние добавки «Релаксол» и натриевых солей, являющихся ее основой, на коррозионное поведение бетона и стальной арматуры изучали неоднократно. В 1986-1987 гг. такие исследования были проведены в НИИЖБ и НИИСК (Киев).

В результате электрохимических испытаний установлено, что арматурная сталь в образцах тяжелого бетона с добавкой до 2,0 % «Релаксола», подвергнутого термообработке, находится в устойчиво пассивном состоянии. В обзоре [4] приведена информация о фундаментальных исследованиях влияния добавки роданида натрия на коррозионное состояние стальной арматуры в бетоне, выполненных в Американском институте бетона в 1989 г. При этом установлено, что добавка роданида натрия в дозировках до 2,5 % не оказывает вредного воздействия на арматуру. В 1994 г. авторы этих исследований опубликовали результаты пятилетних испытаний в условиях естественной среды и установили, что при указанной дозировке добавки на основе роданида натрия безопасны для использования в железобетоне.

В 2004 г. проведены достаточно обширные исследования влияния добавок «Релаксол» и «С-3Р» («Реламикс») на коррозионное поведение бетона и стальной арматуры, в том числе и в предварительно напряженных конструкциях. Эта работа выполнялась в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБа под руководством д-ра техн. наук, проф. В.Ф. Степановой ведущими научными сотрудниками канд. техн. наук Г.М. Красовской и инж. Т.Л. Зиминной. Этими исследованиями установлено, что добавки «Релаксол» при дозировке до 3,5 % и «С-3Р» до 2,0 % массы цемента не являются коррозионно-активными компонентами бетона, не влияют на его защитные свойства по отношению к стальной арматуре и не вызывают ее коррозии.

В этот же период произведено исследование фрагмента, выпиленного из предварительно напряженной плиты ПАГ-14, изготовленной в 1987 г. на Запорожском ЖБК-6 и находившейся в атмосферных условиях в контакте с грунтом. Конструкция была изготовлена из бетона с добавкой «Релаксола» в количестве 1,5 % массы цемента. Проектный класс бетона по прочности на сжатие В25, В/Ц=0,4, применялся портландцемент М500 Заменец-Подольского цементного завода (расход 390 кг/м³), речной песок с $M_{кр} = 1,5$ и гранитный щебень фракций 5-10 и 10-20 мм. Фактическая прочность бетона сразу после ТВО составляла 29 МПа.

В 2004 г. прочность бетона в обследованном фрагменте плиты ПАГ-14, определенная неразрушающими методами, превышала 50 МПа. Рабочие стержни из арматурной стали класса А-III не имели каких-либо признаков коррозии, отсутствовала коррозия также и на распределительной сетке из гладкой арматурной проволоки Ø4 мм. Приведенные данные подтверждают выводы, сделанные в исследованиях НИИЖБа.

Таким образом, имеющаяся экспериментальная и промышленная база, практический опыт изготовления в условиях специализированных предприятий и многолетний позитивный практический опыт применения комплексных полифункциональных добавок на основе тиосульфата и роданида натрия, а также гидрофилизирующих ПАВ свидетельствуют о перспективности разрабатываемого направления и создаваемых на этой основе добавок, предназначенных для бетонов массового применения.

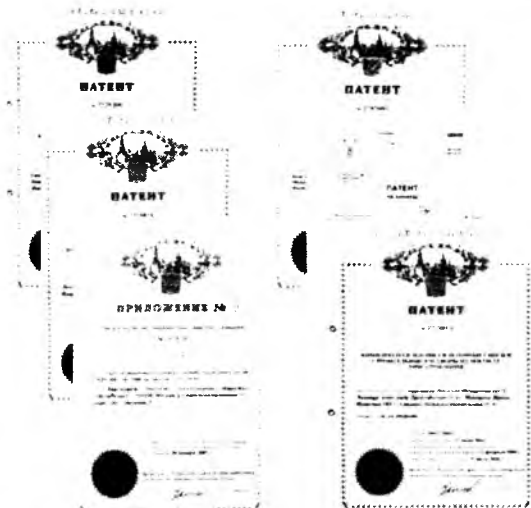
Библиографический список

1. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. – М.: Стройиздат, 1989, 189 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М.: 1998, 768 с.
3. Рамачандран В.С. Добавки-ускорители. // Добавки в бетон: Справочное пособие., под ред. Рамачандран В.С. – М.: Стройиздат, 1988, с. 38-85.
4. Башлыков Н.Ф., Вайнер А.Я. Химические аспекты влияния добавок тиосульфата и роданида натрия на цементные системы // Сб. докладов VI международной научно-практической конференции «Дни современного бетона». – Запорожье: 2004, с. 44-49.
5. Саницкий М.А., Марущак У.Д., Черемис М.М., Пристай В.А. Комплексные модификаторы для цементных систем на основе тиосульфата и роданида натрия. // Сборник научных трудов II Всероссийской (международной) конференции «Бетон и железобетон – пути развития». – М.: 2005, т. 6, с. 133-140.
6. Синякин А.Г., Першина Л.А., Сопов В.П., Ушеров-Маршак А.В., Синайко Н.П., Лихопуд А.П. Гидратация и структурообразование цемента в присутствии модификаторов системы «Релаксол» // Научный вестник строительства. – Харьков: 2000, вып. 9, с. 277-283.
7. Башлыков Н.Ф., Вайнер А.Я., Серых Р.П., Фаликман В.Р. Комплексные пластифицирующие-ускоряющие добавки на основе суперпластификатора С-3 и промышленных смесей тиосульфата и роданида натрия // Бетон и железобетон. – № 6. – 2004. – с. 13-16.



«ПолиРелакС» - независимая компания, длительное время работающая в области добавок для бетонов и строительных растворов, в состав которой входит аттестованная строительная лаборатория, оснащенная современным оборудованием.

Основные направления деятельности компании:



- Разработка и продвижение на строительный рынок новых добавок. Все разработки защищены патентами;
- Проведение исследований, промышленная апробация и постановка на производство;
- Техническое сопровождение применения добавок в строительстве и на предприятиях стройиндустрии;
- Мониторинг современного рынка добавок;
- Изготовление и реализация добавок различного назначения;
- Разработка и оформление технических условий, технологических регламентов, санитарно-эпидемиологических заключений и паспортов безопасности добавок.

Компания реализует:

Эксклюзивные добавки

«Релаксол» - комплексная противоморозная добавка, ускоритель твердения бетона;

«С-3Р» - суперпластификатор и ускоритель твердения;

«С-3Р 2» - комплексная противоморозная добавка;

«ПТВ-10» - антипенователь, эффективно снижает содержание воздуха в бетонной смеси при использовании суперпластификаторов, пластификаторов и других добавок.



А также:

Суперпластификатор С-3.

Пластификатор ЛСТ.

Противоморозные добавки:

- поташ;

- формиат натрия.

воздухововлекающие добавки СНВ и СДО-Л,
пигменты и красители для бетона

1250311, Россия, Московская область, г. Люберцы, ул. Аматоров д.4, корп. 2, офис 3.

Тел./факс: (495) 960-78-38 тел./факс: 960-78-39 Электронная почта: polirelaks@gambler.ru

«ПолиРелакС»

Жаростойкий теплоизоляционный бетон и блок для устройства теплоизоляции лайнера ядерного реактора нового поколения

В связи с разработкой ядерных реакторов нового поколения в рамках Федеральных научно-технических программ «Экологически чистые АЭС нового поколения», «Ядерная энергетика повышенной безопасности» и «Фундаментальные и поисковые исследования в обеспечении разработки перспективных проектов ядерных энергетических установок (ЯЭУ) нового поколения» во исполнение распоряжения Правительства РФ от 05.07.01 №886-Р (реализация инициативы Президента РФ Путина В.В. по комплексному решению политических, экономических и экологических проблем, связанных с обеспечением человечества энергией) большой интерес представляет разработка состава и исследования технологии устройства теплоизоляции шахты реактора из легких жаростойких бетонов. Применение таких бетонов для теплоизоляции шахты обусловлено тем, что роль биологической защиты в реакторах нового поколения играет теплоноситель – жидкий свинец. Поэтому нет необходимости для теплоизоляции лайнера реактора использовать тяжелые и сверхтяжелые бетоны (с заполнителями из лимонитовых, магнетитовых, гематитовых и баритовых руд), бетоны с железным скрапом и борными добавками. Основной задачей в данном случае было получение бетона с наибольшей средней плотностью (не менее 3500–4000 кг/м³) и наибольшим содержанием воды, которая не испаряется при температуре 100⁰С. От средней плотности бетона и количества воды (фактически водорода) зависит толщина биологической защиты.

Основные исследования этих видов бетонов в нашей стране

были проведены в НИИЖБ (б. ЦНИИПС) А.Е.Десовым, С.А.Мионовым и К.К.Пономаревым. Исследованиями в области жаростойких бетонов для применения в реакторостроении занимался В.П.Поспелов. Им были разработаны тяжелые жаростойкие бетоны с гематитовым, магнетитовым, хромомagnetитовым и хромитовым заполнителями на портландцементе и жидком стекле с температурой применения до 1000⁰С.

Обширные работы по созданию новых видов жаростойких бетонов, исследованию их свойств, технологии изготовления, включая нормативную базу для их использования в строительстве, проводились такими учеными, как К.Д.Некрасов, В.И.Мурашев, А.Ф.Милованов, В.В.Жуков, Ю.П.Горлов, А.П.Тарасова, Н.П.Жданова, М.Г.Масленникова, Ф.И.Мельников, А.П.Абызов, В.Н.Самойленко, Б.А.Альтшуллер, Б.Д.Тотурбиев и др.

В связи с тем, что в настоящее время проектируются новые экологически безопасные реакторы, в которых роль тепловой и биологической защиты отводится теплоносителю – расплавленному свинцу, соответственно коренным образом меняется назначение жаростойких бетонов: они должны выполнять роль теплоизоляции, позволяющей уменьшить температуру нагрева обычного тяжелого бетона с 450⁰С (температура расплавленного свинца) до 100⁰С. Также возникла необходимость разработки технологии устройства теплоизоляции, которая удовлетворяла бы требованиям, предъявляемым к жаростойким бетонам для теплоизоляции лайнера ядерного реактора нового поколения с жидкометаллическим (жидкосвинцовым) теплоносителем.

Сложность исследований заключается в разработке состава бетона и технологии устройства теплоизоляции, удовлетворяющих комплексу специфических требований, предъявляемых к жаростойкому материалу теплоизоляции шахты реактора, таких как стойкость бетона в расплаве свинца на участках ожидаемого их контакта в аварийных ситуациях, совместимость коэффициентов линейного температурного расширения бетона и стали при удовлетворительных показателях прочих заданных параметров: теплопроводности, прочности, деформативности, пластичности и разработки технологии устройства тепловой изоляции из сборных блоков и монолитного теплоизоляционного жаростойкого бетона.

С 1999 г. в НИИЖБе, ОАО «Оргэнергострой» Минтопэнерго РФ и в Дагестанском государственном техническом университете велись работы над эскизным проектом шахты реактора нового поколения, исследовались составы и физико-механические, физико-химические, теплофизические свойства жаростойкого бетона по заданию и на основе исходных данных, представленных «Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники им. Доллежая» (ФГУП НИИКИЭТ) и ОАО «Конструкторским бюро специального машиностроения» (КБСМ) с использованием современных достижений в области материалов, расчетных программ и строительной техники.

Для теплоизоляции лайнера реактора был рекомендован жаростойкий теплоизоляционный бетон на основе высокоглиноземистого цемента «Талюм» и заполнителя из шлаковой пемзы (патент №

Таблица 1

№ состава	Расход материалов в кг на 1 м ³ бетонной смеси			В/Ц
	цемент	шлакопемзовый наполнитель фракций, мм		
		5-10	0-5	
1	250	675	675	0,5
2	355	574	574	0,5

Таблица 2

№ № составов	Предел прочности при сжатии бетона после твердения в течение, сут			Температура сушки, °С
	3	7	28	
1	15	21	26	20
2	28	34	47	
1	14	18	23	200
2	24	28	43	
1	9	13	18	700
2	18	24	36	

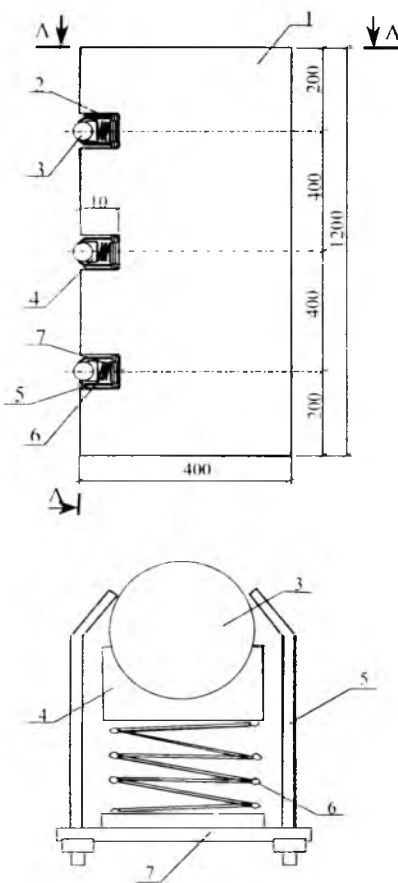


Схема строительного блока и шарнирного устройства для теплоизоляции лайнера ядерного реактора нового поколения
 1 – корпус; 2 – прямок; 3 – шар-каток; 4 – седло для шара; 5 – фиксатор для шаро-катка; 6 – пружина; 7 – подошва шарнирного устройства

2247093 - сырьевая смесь для изготовления жаростойкого конструктивно-теплоизоляционного бетона), составы которого приведены в табл. 1.

Показатели прочности бетонов при сжатии составов 1 и 2 при различных условиях твердения приведены в табл. 2.

Теплопроводность бетона $\lambda = 0,5 \text{ Вт / м}^\circ\text{С}$, коэффициент линейного температурного расширения $\alpha = 11-12 \cdot 10^{-6} \text{ 1}^\circ\text{С}$. Последний близок к аналогичному показателю металла лайнера реакторной установки, что очень важно для синхронной работы металлического лайнера и теплоизоляции.

На основе разработанного состава бетона был предложен метод устройства теплоизоляции лайнера из сборных блоков (патент № 38347 - блок для футеровки лайнера атомного реактора, патент № 39902 - блок для футеровки лайнера реакторной установки) и из монолитного бетона (патент № 2276764 – способ устройства футеровки из жаростойкого бетона лайнера реакторной установки).

Устройство теплоизоляции является одним из основных этапов при возведении шахты реактора типа «БРЕСТ-ОД-300». Технология

устройства тепловой изоляции является достаточно сложной задачей, особенно если применяется монолитная теплоизоляция лайнера реактора, так как возникают проблемы с удобоукладываемостью жаростойкой бетонной смеси (подвижность ее должна быть не более 2-3 см). Для жаростойких бетонов на основе высокоглиноземистых цементов применение пластифицирующих добавок ограничено, так как они не оказывают воздействия, улучшающего удобоукладываемость бетонных смесей, и необходимо проводить дополнительные исследования для изучения влияния подобных добавок на удобоукладываемость.

При устройстве монолитной теплоизоляции необходимо разработать режим сушки и первого разогрева жаростойкого бетона, технологию удаления излишней воды, пара и выбросов газа через вентиляционные технологические каналы.

При устройстве тепловой изоляции из сборных блоков процесс сушки и первого нагрева переносится в заводские условия.

В связи с этим интерес представляет строительный блок для теплоизоляции лайнера ядерного реактора (патент № 38347). Такой блок изготавливают из бетонной смеси, состав которой приведен в табл. 1. Применение этого блока для теплоизоляции лайнера ядерного реактора позволяет устранить деформативные явления в процессе эксплуатации ядерного реактора при рабочей температуре 450°С и аварийном подъеме температуры до 650 °С в зоне контакта лайнера ядерного реактора с теплоизоляцией.

На рисунке приведен вид строительного блока и схема шарнирного устройства для теплоизоляции лайнера ядерного реактора размером 1,2х0,4х0,4 м, снабженный катками-шарнирами, зафиксированными на уровне сопрягаемой с лайнером ядерного реактора поверхности.

Жаростойкие бетоны на безводных силикатах натрия

Жаростойкие бетоны по праву заняли одно из главных мест в строительстве, реконструкции и ремонте тепловых агрегатов черной и цветной металлургии, нефтехимической и химической промышленности, энергетической отрасли, промышленности строительных материалов и др. В настоящее время главной задачей исследователей в этой области является создание новых, еще более эффективных видов жаростойких бетонов, производство которых позволило бы экономить дорогостоящее и дефицитное сырье, снизить расход топливно-энергетических ресурсов и затраты труда.

В результате многолетних всесторонних теоретических и экспериментальных исследований получены эффективные виды безводных силикат натриевых композиционных вяжущих (БСН) и на их основе жаростойкие бетоны с температурой применения 1000–1800°C [1-3].

Вяжущие свойства этих композиций проявляются главным обра-

зом вследствие приобретения безводными силикатами натрия адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента, и когезионную прочность клеевых контактов, прочность и долговечность которых, в свою очередь, зависят от условий образования.

Использование в качестве связки сухого зернистого медленно гидратирующегося материала позволяет добиться высокой степени гомогенизации его в смеси даже при низкой дозировке его в составе массы. Концентрация связующего компонента в этом случае определяется не условиями гомогенизации и уплотнения смеси, т.е. не технологическими, а только факторами эксплуатационной стойкости. Это открывает возможность значительного снижения концентрации силиката натрия в массе и, как следствие, уменьшения в бетоне содержания плавней, что в конечном счете должно привести к повышению огнеупорности бетона на БСН и значительному улучше-

нию его термохимических свойств.

В жаростойких бетонах этого вида обеспечивается плотная упаковка зернистых составляющих с контактным омоноличиванием частицами гидратированного вяжущего. Зерна тонкодисперсных БСН и огнеупорного заполнителя формируются в конгломераты, наружный слой которых состоит из мелких частиц силиката натрия. Эти конгломераты и обеспечивают контактное омоноличивание бетона, при котором создаются локализованные в пространстве межзерновые клеящие швы. Такая специфическая структура омоноличивания позволяет при малом расходе связующего достигать удовлетворительной прочности при сжатии и растяжении, сохранять эту прочность при повышенной температуре и, что очень важно, обеспечивать высокую трещиностойкость изделий при циклическом нагревании-охлаждении (термостойкость) и хорошие термомеханические показатели.

Основные характеристики не-

Показатели	Бетоны						
	карбид-кремниевый	шамотный	муллитокорундовый	хромомagneзитовый	магнезитовый	цирконный	динасокарцитовый
Огнеупорность, °С	1900	1650	1780	1750	1770	1720	1730
Максимальная температура применения при одностороннем нагреве, °С	1600	1380	1600	1580	1600	1650	1480
Предел прочности при сжатии после сушки при 200°С, МПа	22-25	18-20	27-29	19-24	20-22	27-30	25-30
После обжига до максимальной температуры применения, МПа	39-50	24-26	32-35	17-23	18-20	54-63	20-22
Средняя плотность после сушки при 200°С, г/см ³	2,3-2,5	1,95	2,4	2,6-2,7	2,5-2,6	3,0-3,2	1,8-1,9
Открытая пористость после сушки при 200°С, %	19-20	19-24	19,5-20	20-24	20-25	17-19	21-24
Линейная усадка после обжига до максимальной температуры применения, %	+0,24	+0,12	+0,5	+0,17	+0,4	+0,15	0,6
Температурный коэффициент линейного расширения при непрерывном нагреве $\times 10^{-6}$ К ⁻¹	3,2	10,15	11,2	10,1	12	3,4	11,4
Теплопроводность при температуре 1200°С, Вт/(м·К)	12,5	0,97	0,78	1,47	1,4	1,82	1,2
Температура начала размягчения под нагрузкой 0,2 МПа, °С	1550	1350	1520	1500	1520	1600	1480
Термостойкость, число водяных теплосмен после термообработки при 1300°С	50	40-50	16-17	10-15	6-7	20-22	5-6

которых видов жаростойких бетонов на безводных силикат-натриевых композиционных вяжущих приведены в таблице. Анализируя ее, можно отметить высокую прочность бетонов после сушки и весьма высокую (до 60 МПа) прочность после нагрева до температуры начала деформаций. Высокая термическая стойкость полученных бетонов, характерная практически для всех композиций на силикат-натриевых вяжущих, объясняется также отсутствием в их составе гидратных соединений и малокомпонентностью систем.

Приготовление бетонов и выпуск изделий и конструкций из них не требует какого-либо нестандартного оборудования. Технологический процесс производства бесцементных жаростойких бетонов и изготовление изделий и конструкций из них включает получение силикат-натриевого вяжущего, приготовление формовочной массы, формование изделий и тепловую обработку (сушку) (рис. 1).

Получение силикат-натриевого композиционного вяжущего заключается в совместном помоле на шаровой мельнице силикат-глыбы и части основного огнеупорного материала до $S_{уд} = 2500 \dots 3000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Приготовление формовочной массы рекомендуется осуществлять всухую в растворо- или бетоносмесителе принудительного действия в течение 2 – 4 мин. Сухие смеси можно транспортировать к месту потребления, где их необходимо увлажнять и перемешивать еще 3 – 4 мин. Изделия можно формовать трамбованием или виброформованием с пригрузом при промышленной частоте 3000 кол/мин. Бетоны предназначены для монолитной и блочной футеровки тепловых агрегатов металлургической, химической, нефтехимической и энергетической промышленности.

Разработанные бетоны не содержат в своем составе цементов, а также других видов традиционных вяжущих и представляют собой безводные силикат-натриевые композиции. В процессе производства таких бетонов, в отличие от известных, отпадает необходимость в таких энерго- и трудоемких операциях, как автоклавная обработка и обжиг по специальному

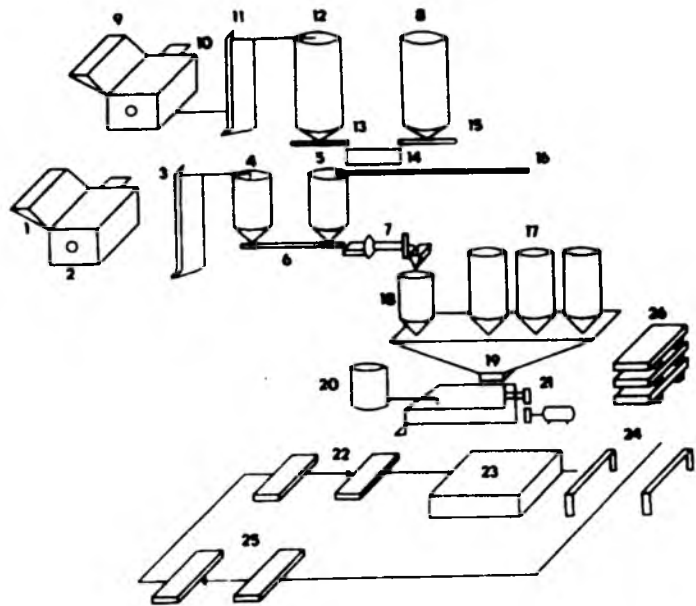


Рис. 1. Технологическая схема производства изделий из жаростойкого бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем

1, 9 – приемные бункера для исходных компонентов вяжущего; 2, 10 – дробилки; 3, 11 – ковшовые конвейеры; 4 – бункер для силикат-глыбы; 5 – бункер для огнеупорного материала; 6, 13, 15, 16 – ленточные конвейеры; 7 – шаровая мельница для сухого помола компонентов вяжущего; 8 – бункер для огнеупорного заполнителя; 12 – бункер для дробленого огнеупорного материала; 14 – механическое сито; 17 – бункера для различных фракций заполнителя; 18 – бункер вяжущего; 19 – приемный бункер для компонентов бетона; 20 – емкость для воды; 21 – бетоносмеситель; 22 – участок формовки; 23 – сушильная камера; 24 – участок расформовки изделий; 25 – участок сборки форм; 26 – склад готовой продукции

режиму. Технологический цикл предусматривает только их термообработку при 150 – 200 °С.

Подобные бетоны широко применяют в различных тепловых агрегатах металлургической промышленности и предприятий строительных материалов. Бетон на муллитокорундовом заполнителе был использован трестом «Донбасдомнаремонт» в методических печах листопрокатных станов, а также в печах трубопрокатного цеха Ждановского металлургического комбината. Из него формовали фасонные камни для горелок нагревательных печей взамен обжиговых огнеупорных изделий 9 и 11 классов сложности, изготавливаемых огнеупорной промышленностью по индивидуальным заказам. Этим же трестом на металлургических печах № 1 и 2 листопрокатного стана 2540 была выполнена монолитная футеровка горелочных стен томильной и сварочных зон. После двух лет эксплуатации горелочные стены находились в удовлетворительном состоянии и были

оставлены на следующий двухлетний период эксплуатации. Здесь уместно отметить, что материал горелочной стены, особенно футерующий сами горелки, работает в условиях частых теплосмен около 150-200 раз в году. Кроме того, его эксплуатация происходит в агрессивной среде, особенно в случае сжигания жидкого топлива.

В этих условиях обжиговые высокоглиноземистые изделия, применяемые для футеровки горелок, не всегда выдерживают в течение одного-двух лет эксплуатации. В то же время горелочная стена, выполненная из жаростойкого бетона на безводном силикат-натриевом композиционном вяжущем, в таких условиях прослужила около четырех лет и находилась еще в удовлетворительном состоянии. Замена обжиговых огнеупорных изделий жаростойким бетоном позволяет в данном случае снизить расход дефицитного сырья на 1 т стали по крайней мере в два раза. При этом трудовые затраты снижаются не менее чем в три раза, а

также исключается обжиг при производстве изделий, что позволяет существенно снизить затраты топлива.

Монолитные футеровки горелочных стен из жаростойкого бетона на безводном силикат-натриевом композиционном вяжущем были применены на методических печах листопрокатного цеха.

На доменной печи № 1 Енакиевского металлургического завода трест «Донбассдомнаремонт» осуществил укрепление жаропрочного фундамента. С этой целью методом инъекции закачивали жидкоподвижный жаростойкий раствор на силикат-натриевом вяжущем за кожух фундамента доменной печи, что уплотняло и скрепляло разрушавшиеся частицы. В результате отпала необходимость остановки и демонтажа печи с последующим усилением фундамента. При этом дополнительный выпуск металла составил 20 тыс. т.

Муллитокорундовый жаростойкий бетон на высокоглиноземистом и карбидкремниевом силикат-натриевых вяжущих был применен для изготовления холодильных плит кожуха шахты доменной печи взамен чугунных изделий, продолжительность эксплуатации которых не превышает 1-1,5 лет.

На Ждановском металлургическом комбинате впервые в мировой практике применили в опытном порядке монолитную футеровку кожуха шахты доменной печи №4 из жаростойкого бетона. Бетонирование осуществлялось непосредственно на металлических листах кожуха размером 10,5х4,1 м. Бетон укладывали в форму и уплотняли виброрейкой. Внутри бетонного массива во время бетонирования устанавливали металлические трубы для водоохлаждения футеровки. Фрагмент такой футеровки (карты), установленный на специальном вагоне, направляли в камерную сушилку размером 14х8 м, где подвергали низкотемпературной тепловой обработке при 250°С. После остывания карту монтировали в конструкцию ограждения доменной печи. Его масса составляла 50-55 т, а масса бетона в одной карте достигала 20 т (рис. 2).

На этом комбинате для футеровки штуцеров горелки и горячего



Рис. 2. Подъем укрупненного узла кожуха доменной печи в процессе монтажа

дутья в воздухонагревателе № 18 ДП-5 был использован жаростойкий бетон на силикат-натриевом композиционном вяжущем. В доменной печи №4 и №5 были торкретированы купол и устье газоотводов. Общая поверхность футеровки составила 120 м². В состав торкрет-масс из шамотного бетона на силикат-натриевом композиционном вяжущем дополнительно вводили до 2% глиноземистого цемента. Торкретирование производилось полусухим способом. Для лучшего сцепления торкретного покрытия с чугунными плитами купола его армировали металлическими сетками, которые приваривались Т-образными шпильками к кожуху купола. Поверхность купола после торкретирования была ровной, без видимых наплывов.

Использование горелочных камней из жаростойкого карбидкремниевом бетона на безводном силикат-натриевом композиционном вяжущем в НПО «Тулачермет» взамен жаростойкого шамотного бетона на высокоглиноземистом цементе позволило продлить срок их службы до 12 мес, что превысило межремонтный период почти в два раза.

Алюмосиликатный шамотный

жаростойкий бетон на безводном силикат-натриевом композиционном вяжущем был применен для футеровки тепловых агрегатов и огнеупорных припасов на заводе строительных материалов. Жаростойкий бетон был использован для футеровки обжиговых вагонок туннельной печи.

Футеровка была монолитной (сплошное бетонирование пода вагонетки) и сборной (монтаж из крупных блоков). Таким образом, опытно-промышленное применение жаростойких бетонов на силикат-натриевом композиционном вяжущем для футеровки тепловых агрегатов металлургических заводов и предприятий промышленности строительных материалов показало их высокую стойкость и эффективность.

Библиографический список

1. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций – М.: Стройиздат, 1988. – 208 с.
2. Тотурбиев Б.Д. Бесцементные жаростойкие бетоны на силикат-натриевых композиционных вяжущих//Бетон и железобетон. – № 1. – 1986. – с. 35–36.
3. Патент №1701693 Способ изготовления безобжиговых огнеупоров / авт. Тотурбиев Б.Д.

Прогнозирование влажности свежеложенного бетона конструкций, остывающих в зимних условиях

Изменение влажности по сечению остывающих в зимних условиях бетонных конструкций возможно при наличии температурного градиента по их сечению. Перемещаясь под его воздействием из теплых слоев, влага увеличивает водоцементное отношение охлажденных, как правило, поверхностных слоев конструкции. Если этот процесс произойдет до схватывания и затвердевания бетона, то внутреннее перераспределение первоначально равномерной влажности станет необратимым. В результате в охлажденных в ранний период выдерживания слоев формируется менее плотная структура, с которой впоследствии начинается разрушение бетонных конструкций. В работе [1] определено, что внутренняя миграция влаги является основной причиной снижения прочности бетона с противоморозными добавками при его раннем замораживании, увеличивающая в проведенных опытах до 33,3 % исходную влажность охлажденных слоев. В результате за счет увеличения пористости структуры бетона снижение его прочности составило 17 %. Переувлажнение поверхностных слоев остывающих бетонных ростверков на 18 % и пропорциональное снижение прочности, по сравнению с центром, зафиксировано в работе [2]. В экспериментах [3] одностороннее охлаждение свежеложенного бетона в течение 4-х часов с последующим твердением в нормальных условиях привело к переувлажнению охлажденных слоев на 25 %, снижению плотности и повышению пористости на 20 %.

Процесс внутренней миграции влаги особенно актуален в условиях применения безобогревных методов выдерживания бетона, контакта бетона с неотогретым основанием, рабочим швом или арматурой.

Основной причиной перемещения влаги в остывающем свежеложенном бетоне считается перепад капиллярного потенциала, вызванный градиентом температуры, и рассматривается как аналог процесса фильтрации [1]. При появлении кристаллов льда в охлажденной зоне поток влаги дополняется пленочным течением, существенно увеличивающим интенсивность движения влаги [4]

$$\Delta\psi = -2 \cdot G / r, \quad (1)$$

где $G = f(t)$ - поверхностное натяжение воды, зависящее от температуры t ; r - радиус капилляра.

Количество мигрирующей влаги зависит от температурного градиента, связанного с ним наличием кристаллов льда и радиуса капилляра r , зависящего от тонкости помола цемента (марки) и водоцементного отношения. Даже незначительная прослойка (от 3 мм) кристаллов льда в охлажденной зоне увеличивает приток

влаги на 15 % [4]. Пластифицирующие и противоморозные добавки снижают, но не исключают скорости процесса. Их воздействие на влагоперенос проявляется в увеличении плотности жидкости с одновременным уменьшением влияния температурной зависимости $G = f(t)$ при повышении концентрации добавок.

Целью нашего исследования был прогноз поля влагосодержания в свежеложенном бетоне остывающей конструкции на основании полученных экспериментально коэффициентов массопереноса.

Математическая модель взаимосвязанных процессов тепло- и массопереноса рассматривалась в виде системы уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} (D_U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + D_T \cdot \frac{\partial T}{\partial x}) - f_1(\tau, T), \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} &= \alpha_1 \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + f_2(\tau, T), \end{aligned} \quad (2)$$

где U - влажность; T - температура; τ - время; D_U, D_T - коэффициенты внутреннего изотермического и неизотермического переноса влаги соответственно; α_1 - коэффициент температуропроводности; $f_1(\tau, T)$ - функция связывания (стока) воды; $f_2(\tau, T)$ - функция тепловыделения.

Коэффициенты массопереноса характеризуют изотермический и неизотермический потоки влаги. Изотермический поток вторичен, так как в свежеложенном бетоне он возникает вследствие неизотермического потока, вызванного потоком тепла.

Так как рассматриваемый интервал времени (до схватывания цемента), по сравнению с полным временем твердения бетона, мал, открытая поверхность бе-

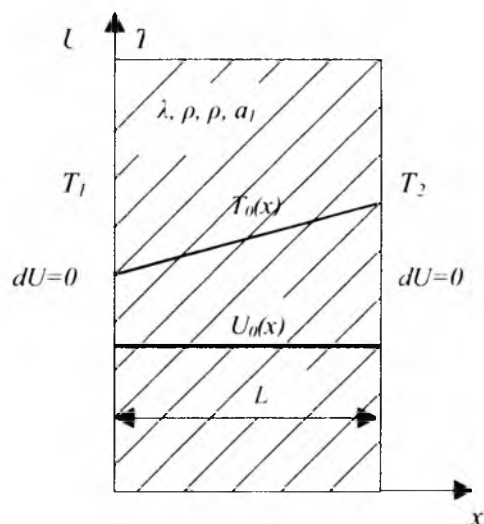


Рис.1. Начальные и граничные условия задачи

тона, согласно технологии, укрывается влагозащитным материалом, процессы тепло- и массопереноса в условиях замкнутой системы рассматривались при следующих ограничениях:

1. Внешний массообмен отсутствует.
2. Теплофизические характеристики бетона в рассматриваемый период постоянны.
3. Внешнее давление окружающей среды постоянно и равно атмосферному.

Уравнения (1, 2) решались при следующих начальных и граничных условиях (см. рис. 1):

$$\begin{aligned} x \geq 0, \tau = 0 \quad U = U_0(X), T = \xi(X) \\ x = 0, \tau > 0 \quad \frac{\partial}{\partial x} (D_U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + D_T \cdot \frac{\partial T}{\partial x}) = 0 \quad (3) \\ (\alpha_0(\tau)T + \lambda_0(\tau) \frac{\partial T}{\partial x})|_{x=0} = \gamma_0(\tau) \\ (\alpha_1(\tau)T + \lambda_1(\tau) \frac{\partial T}{\partial x})|_{x=l} = \gamma_1(\tau), \end{aligned}$$

где γ_0, γ_1 - функции, определяющие температуру окружающей среды; α_0, α_1 - функции, определяющие коэффициент теплоотдачи с учетом термического сопротивления опалубки; λ_0, λ_1 - то же, теплопроводности смеси.

Функции связывания воды f_1 и тепловыделения цемента f_2 рассчитывались по известным зависимостям [5]:

$$f_1 = 1 - \exp(-k_1 \cdot \tau^n), \quad k_1 = k_0 \cdot \exp(-E^a / RT), \quad (4)$$

$$f_2 = \exp(-\beta \cdot \tau) \cdot C / g / C \cdot \rho_u, \quad (5)$$

где C - расход цемента; C - удельная теплоемкость; n - порядок реакции; E^a - энергия активации; k_1 - постоянная реакции; ρ_u - плотность цемента; R - универсальная газовая постоянная; g - удельное тепловыделение цемента; T - температура; τ - время.

Неизвестные в модели коэффициенты внутреннего массопереноса определялись экспериментально по скорости миграции влаги в односторонне охлаждаемых бетонных образцах:

$$D_l = V_l \cdot l,$$

$$D_T = V_{UT} \cdot l / \Delta T, \quad (6)$$

где V_U - скорость перемещения влаги под действием градиента влажности, %·см/с; V_{UT} - то же, под действием градиента температуры, %·см/с·°C; l - размер стороны сечения образца, перпендикулярный потоку влаги, см; ΔT - перепад температуры на исследуемом отрезке образца, °C. Индексы (U) и (T) при коэффициенте массопереноса означают изотермические или неизотермические потоки.

Скорость перемещения влаги определялась по распределению влажности по длине образца через 2, 4, 6 ч по формуле:

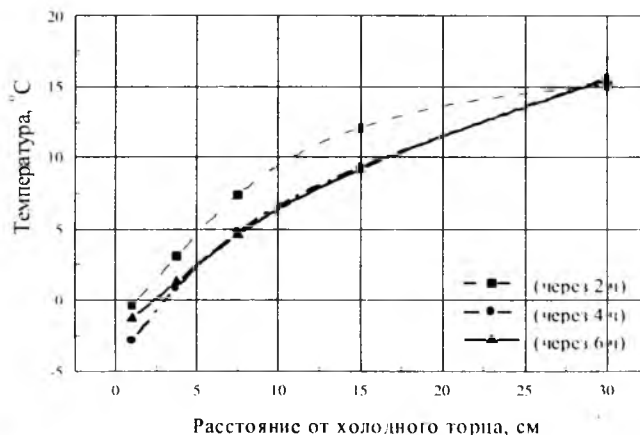
$$V_{U(T)} = \frac{(\int_0^l U dx)_{\tau_2} - (\int_0^l U dx)_{\tau_1}}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (7)$$

где U - количество переместившейся влаги, %; τ_1, τ_2 - время температурного воздействия, с; x - расстояние от холодного торца, см.

Экспериментальная методика определения скорости миграции влаги подробно изложена нами в [4], поэтому ограничимся кратким ее описанием. Для неизотермических условий выдерживания влажностные поля в свежееотформованном бетоне получали при помощи установки, позволяющей в автоматическом режиме создавать и поддерживать в течение заданного времени одномерное температурное поле в трех горизонтально расположенных образцах размером 100x100x300 мм. Влажность через 2, 4, 6 ч центра образцов определялась высушиванием 5-6 проб термостатно-весовым методом. Эксперименты проводили на составах тяжелого и мелкозернистого бетона. Примеры распределения температуры и влажности по длине образцов показаны на рис. 2.

Изотермический поток влаги создавался контактом двух смесей с различным водоцементным отношением, уложенных во влагоизолированную форму. Для замедления схватывания образцы выдерживались при низких положительных температурах. Изменение влажности на контакте бетонов с различным водоцементным отношением показано на рис. 3.

а



б

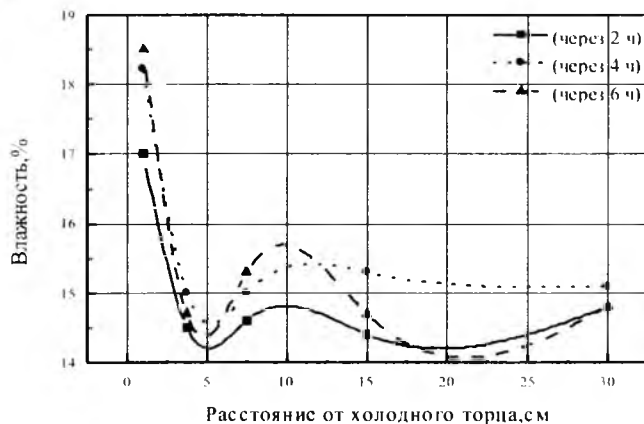


Рис. 2. Распределение температуры (а) и влажности (б) по длине образца через 2, 4, 6 ч неизотермического выдерживания. Цемент М500 Д20, состав смеси 1:2:0,37 (цемент: песок: вода), добавка С-3 в количестве 0,5 % от массы цемента

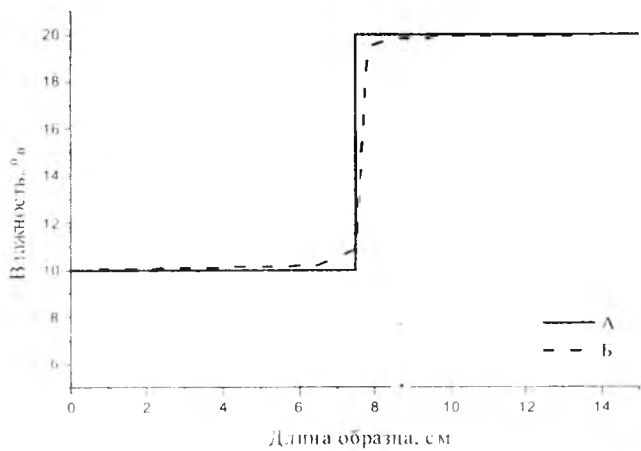


Рис. 3. Распределение влажности в образце свежееотформованного бетона со ступенчато распределенной влажностью (водоцементное отношение 0,3 и 0,6). Здесь А - исходная влажность. Б - влажность через 12 ч выдерживания при температуре 2 °С

По результатам экспериментов определено, что величина коэффициента изотермического массопереноса в рассматриваемый период времени меняется очень незначительно, поэтому для дальнейших расчетов D_u был принят постоянной величиной ($D_u = 1,8 \cdot 10^{-8}$, %·см²/с).

Значения коэффициента неізотермического массопереноса устанавливались анализом результатов четырехфакторного эксперимента. Значимыми факторами установлены: водоцементное отношение, марка цемента, длина замерзшей зоны у охлаждаемой грани, концентрация добавки. Температурный градиент, для сокращения количества факторов, оценивали по связанной с ним длине промерзшей зоны у охлаждаемой грани образца, которую легко было определить и измерить. В качестве добавок в экспериментах использовались противоморозные добавки (NaCl, Ca₂CO₃, NaNO₂, K₂CO₃) и суперпластификатор С-3.

В результате обработки результатов эксперимента были получены зависимости для составов с суперпластификатором:

$$D_u^T = 0,099 - 0,012 \cdot X_2 + 0,001 \cdot X_3 + 0,016 \cdot X_4 - 0,016 \cdot X_1 \cdot X_4 \quad (8)$$

Соответственно количество мигрирующей влаги

$$W = 1,279 - 0,026 \cdot X_2 + 0,036 \cdot X_3 + 0,036 \cdot X_4 - 0,043 \cdot X_1 \cdot X_4;$$

Для составов с противоморозными добавками:

$$D_u^T = 0,074 - 0,003 \cdot X_1 + 0,009 \cdot X_4 - 0,0003 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,003 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,004 \cdot X_2 \cdot X_4 \quad (9)$$

$$\text{и } W = 1,215 - 0,013 \cdot X_1 + 0,022 \cdot X_4 - 0,013 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,018 \cdot X_2 \cdot X_4.$$

Здесь $X_1 = 3,33 \cdot W/C - 2,1$; $X_2 = 0,5 \cdot C - 1,0$; $X_3 = M_c - 1,5$; $X_4 = L_x - 1,5$,

где D_u^T – коэффициент неізотермического массопереноса; W – количество переместившейся влаги за 4 ч выдерживания в неізотермических условиях; W/C – исходное водоцементное отношение; C – концентрация добавки, M_c – марка цемента; L_x – длина замерзшей зоны, см (в опытах рассматривалась от 5 до 26 мм).

Зависимости (8-9) можно использовать для оценочных оперативных расчетов. Для более строгих расчетов они недостаточно точны, так как значения, получаемые в этих уравнениях, дают результат с ошибкой, близкой к максимальному значению F-критерия. Поэтому при реализации модели (2) коэффициенты неізотермического массопереноса определяли при помощи “кусочных” функций с фиксированными значениями по трем факторам и переменным водоцементным отношением. Зависимости $D_u^T = f(W/C)$ принимались линейными. В программе расчета сформирован блок из 16 сочетаний факторов с соответствующими зависимостями $D_u^T(W/C) = k(W/C) + b$. Здесь k, b – коэффициенты уравнения, определяемые по экспериментальным значениям $D_u^T(W/C)$. Выбор соответствующего уравнения осуществлялся по сочетанию факторов из входных параметров расчета. В процессе разработки программы производили корректировку коэффициентов уравнений $D_u^T(W/C) = k(W/C) + b$ по расчетному и экспериментально полученному полю влажности.

Дифференциальные уравнения (2) решались методом замены самих уравнений конечно-разностными аналогами с последующим решением системы линейных уравнений методом прогонки.

По причине различной сходимости уравнение массопереноса решалось с уменьшенным, по сравнению с уравнением теплопроводности, шагом. Требуемые значения температуры определялись путем квадратичной интерполяции соответствующих значений по крупной сетке. Подбор шагов осуществлялся путем проверки симметричности решений при симметричных граничных условиях, а также путем достижения минимальных расхождений с предыдущими решениями. Для вычисления функции экзотермии, в которой требовались табличные величины, искомые значения определялись линейной интерполяцией.

Область применения модели ограничена действием механизма перемещения влаги: по температуре – от эвтектической температуры до 80 °С; по влажности – соответствующей водоцементным отношениям 0,32 – 0,7; по времени – периодом до схватывания цемента.

Адекватность расчетных значений влажности экспериментальным можно проследить по рис. 4. Для наглядности и с позиций степени влияния процесса массопереноса влажность, показанная по оси ординат, пересчитывалась с учетом водопоглощения заполнителя на значение водоцементного отношения.

Как видно из рис. 4, расхождения расчетных и экспериментальных значений в большинстве случаев не превышают 5%. Отличия указанных значений в меньшую сторону на теплом торце (до 8 % на рис. 4, в) связаны с ошибкой зависимости (4), не учитывающей влияние добавки на скорость гидратации. Сравнение расчетных и экспериментальных данных с результата-

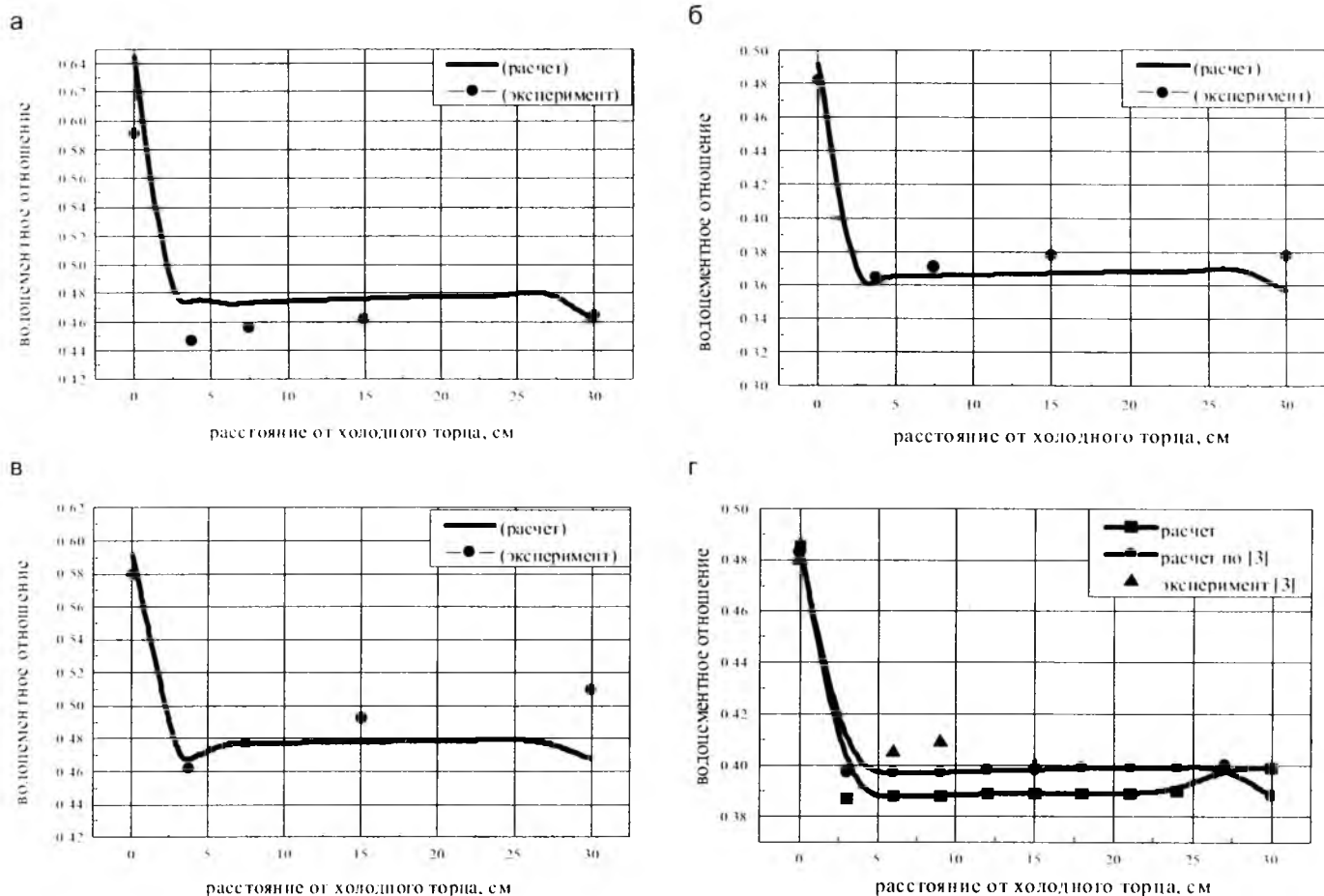


Рис. 4. Сравнение расчетных и экспериментальных значений влажности (ось ординат) через 4 ч выдерживания
 а – состав 1: 2: 0,48, добавка хлорид натрия 1%; б – состав 1: 2: 0,38, пластификатор С-3, 0,5%; в – состав 1: 2: 0,5, добавка хлорид натрия 1%; г – состав 1: 2: 0,4

ми [6] показывает приемлемость предлагаемой методики расчета и позволяет считать достаточно достоверным механизм переноса влаги, положенный в основу проведенных экспериментов.

Выводы

Полученные значения коэффициентов внутреннего массопереноса в свежесуспензии бетоне и рассчитанные на их основе значения влажности в неоднородном температурном поле показали достаточную для практического применения точность оценки процесса внутренней миграции влаги в остывающих бетонных конструкциях на ранней стадии их выдерживания.

При проектировании и производстве бетонных работ в зимний период возможность возникновения процесса внутренней миграции влаги необходимо учитывать анализом условий выдерживания бетонированных конструкций, состава смесей. Такой анализ рекомендуется выполнять с применением зависимостей (8-9) или с использованием программы расчета температурных и влажностных полей в свежесуспензии бетоне.

В случае получения значительного расчетного перераспределения влаги технологическими мероприятиями необходимо предусмотреть уменьшение или

исключение факторов, вызывающих этот процесс: замена метода выдерживания бетона в ранний период выдерживания, корректировка состава бетонной смеси, повышение температуры отогрева основания и т.д.

Библиографический список

1. Лагойда А.В. О массопереносе и замораживании бетона в раннем возрасте // Бетон и железобетон. – 1996. – № 6. – С. 7 – 10.
2. Михайличенко В. М., Козлов А. Д. Исследование влажности бетона монолитных конструкций, выдерживаемых в зимних условиях // Деп. Рукопись во ВНИИТПИ. - №11214 от 15.04.1992.- 8 с.
3. Подласова И.А. Внутренний неизоотермический массоперенос в бетоне на ранней стадии выдерживания//Дисс. на соискание уч. степ. канд. техн. наук. – Томск, 1993. – 118 с.
4. Подласова И.А., Гусаков А.М., Томрачев С.А. Внутренний массоперенос в бетоне конструкций, возводимых в зимних условиях//Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. – С. 22-26.
5. Федоров А.Б., Лагойда А.В., Танаев И.В. Гидратация и формирование полимерной структуры цемента//Доклады АН СССР – 1988. - № 5. – т. 298. – С. 2508-2512.
6. Лагойда А. В., Гныря А. И., Дудка Б. В., Саркисов Ю. С., Подласова И. А. Прогнозирование внутреннего неизоотермического массопереноса на начальном этапе выдерживания бетона // Бетон и железобетон. – 1996. – №3. – С. 7-11, – 1996. – №4. – С. 8-12.

Проектирование высокопрочного бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками

В настоящее время весьма востребованы высокопрочные и высокоэффективные строительные материалы, которые позволят решать задачи, ранее казавшиеся недостижимыми. Например, осуществлять высотное домостроение, мостостроение, а также возведение других ответственных объектов. Поэтому создание высокопрочного бетона на данный момент является одной из наиболее важных строительных задач.

При отсутствии массового производства высокомарочного цемента, а также заполнителей повышенного качества получение высокопрочного бетона возможно только при максимальном вовлечении в гидратационные процессы минералов портландцемента, что может быть достигнуто путем химической активации твердеющей системы.

Исходя из уровня современных знаний, задача повышения качества бетона и других строительных материалов может быть решена в том числе за счет использования добавок особой природы, например добавок, представленных золями, содержащими дисперсии коллоидного размера (1-100 нм).

Добавки такого типа должны способствовать повышению гидратационной активности цемента и соответственно вовлечению большего количества частиц цемента в гидратационные процессы за счет:

структурирования воды на границе раздела фаз вода – дисперсия, в результате чего увеличивается подвижность протона водорода при передаче его по системе водородных связей. Это приводит к смещению кислотно-основного равновесия в твердеющей системе и соответственно к увеличению гидратационной активности цемента, а именно, повышению степени гидратации трехкальциевого силиката, сопровождающейся гидролизом;

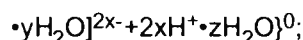
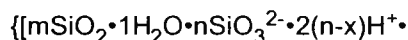
диспергирования частиц цемента дисперсиями коллоидных растворов, обладающих повышенной поверхностной энергией.

В продолжение ранее проведенных работ по созданию золь-добавок [1, 2] целесообразно использовать в качестве дисперсии вещества на основе d-элементов, которые характеризуются высокой энергией электронных конфигураций, что в свою очередь будет повышать энергию активации взаимодействующих частиц, т.е. оказывать каталитическое действие на твердеющую систему.

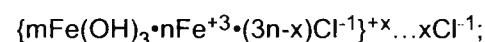
Использование добавок такого типа обеспечит рост прочности бетона за счет дополнительного образования гидратных соединений, а также повышение его плотности вследствие блокирования пор сопоставимого размера гидратными новообразованиями и дисперсиями, входящими в состав зольей, что и будет способствовать созданию высокопрочного бетона.

В качестве добавок такого типа исследованы следующие золь-добавки, содержащие нанодисперсии разной природы:

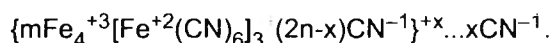
- золь ортокремниевой кислоты



- золь гидроксида железа (III)



- золь берлинской лазури $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$



На первом этапе работ проведено сопоставление эффективности действия золь-добавок с известными высокоэффективными добавками [3–5], такими как суперпластификаторы С-3, ЦМИД по ТУ 5745-004-53268843-2000, гиперпластификатор «Peramin» на основе поликарбоксильных полимеров шведской компании «Perstarp».

Сравнительная оценка эффективности известных и новых зольсодержащих добавок производилась по прочности на сжатие и по значению водопоглощения бетона класса В25, косвенно характеризующего плотность бетона. В качестве вяжущего использован портландцемент ПЦ400 Д-20 Пикалевского объединения «Глинозем». Полученные результаты представлены в табл. 1.

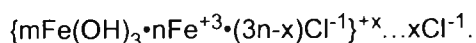
Анализ полученных данных показывает, что все исследуемые добавки обладают пластифицирующим и активирующим эффектом действия. Необходимо отметить, что пластифицирующий эффект золь-добавок ниже, чем у супер- и гиперпластификаторов (СП и ГП), так как в первом случае водоцементное отношение снижается в меньшей степени (не более чем на 0,05), что соответствует падению водопотребности бетонной смеси до 9 %. Несмотря на то, что золь-добавки оказывают меньший пластифицирующий эффект, чем СП и ГП, в их присутствии бетон имеет большую плотность, о чем можно косвенно судить по величине водопоглощения, которое уменьшается в присутствии золь-добавок на 70 %, а в присутствии СП и ГП – на 45 %.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что уплотнение искусственного камня осуществляется не только вследствие уменьшения водопотребности, но и, по-видимому, за счет повышения количества новообразований, а также блокирования пор дисперсиями коллоидных растворов.

Сравнительная оценка эффективности действия добавок в бетонах различной природы

№ п/п	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг				Подвижность по ОК, см	В/Ц	Наименование добавки /% от массы цемента	Прочность при сжатии в возрасте 28 сут, МПа /%	Водопоглощение, %
	Ц	П	Щ фр. 5-10 мм	В					
1	480	660	990	250	2	0,52	контрольный	33,6 / 100	6,8
2	480	660	990	221	2	0,46	СПС-3/0,75	44,7 / 133	4,5
3	480	660	990	230	2	0,48	СП «ЦМИД»/8,0	46,0 / 137	3,8
4	480	660	990	216	2	0,45	ГП Peramin/0,7	47,7 / 142	4,1
5	480	660	990	230	2	0,48	золя H ₂ SiO ₄ /0,25	49,1 / 146	2,7
6	480	660	990	226	2	0,47	золя Fe(OH) ₃ /3,0	53,1 / 158	2,5
7	480	660	990	235	2	0,49	золя Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃ /0,25	51,1 / 152	2,8

Установлено, что максимальное повышение прочности при сжатии бетона от 46 до 58 % обеспечивают золюсодержащие добавки с нанодисперсиями разной природы. Следует отметить, что из рассматриваемых золюсодержащих добавок в большей степени повышает прочность бетона при сжатии при одновременном уменьшении водопоглощения добавка, представленная золей гидроксида железа:



Проведенные микроскопические исследования образцов в присутствии золя гидроксида железа подтверждают факт формирования более плотной структуры, так как общая пористость активированного образца уменьшается более чем на 40 % и достигает 17 %, по сравнению с контрольным бездобавочным составом. При этом размер всех пор модифицированного искусственного камня уменьшается, и преобладают преимущественно капиллярные поры размером $\approx 0,03$ мм. Кроме того, при использовании золя гидроксида железа (III) обеспечивается формирование пор с сечением, соответствующим форме круга, что характеризует полноту прохождения гидратационного процесса.

Таким образом, экспериментальные данные показали, что при использовании в качестве добавки золя

гидроксида железа формируется более плотная структура бетона, хотя В/Ц отношение снижается на меньшую величину, чем в случае применения суперпластификаторов.

Дальнейшие исследования были посвящены определению рационального количества золюсодержащих добавок на основе Fe(OH)₃ плотностью $\rho = 1,018$ г/см³ и pH = $5,0 \pm 0,5$ % как наиболее эффективной из рассматриваемых золюсодержащих добавок, способствующих изменению основных физико-механических параметров активированного искусственного камня (см. табл. 2).

Данные табл. 2 показывают, что наибольший эффект достигается при введении золюсодержащей добавки в количестве 3-х мас. % от массы цемента. При этом улучшаются все исследуемые параметры: прочность при сжатии в проектном возрасте повышается на 58 %, а коэффициент трещиностойкости, оцениваемый по отношению $K_{тр} = R_{изг} / R_{сж}$, где $R_{изг}$ – прочность на изгиб, МПа; $R_{сж}$ – прочность при сжатии, МПа, достигает значения 0,23, что косвенно свидетельствует о существенном увеличении трещиностойкости материала.

Таким образом, полученные положительные данные по параметрам качества активированного камня подтверждают высказанные предположения об эффективном действии золюсодержащих добавок и о получении бетона повышенной прочности и плотности.

Таблица 2

Физико-механические характеристики активированного бетона

№ п/п	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг					Усадка, мм / м	Водопоглощение, %	W, атм.	R _{сж} в возрасте 28 сут, МПа	K _{тр} = R _{изг} / R _{сж}
	Ц	П	Щ	Д, % от m _ц	В					
1	600	576	942	—	282	2,5	6,80	8	46	0,17
2	600	576	942	0,25	279	0,445	2,45	12	69,8	0,19
3	600	576	942	0,5	276	0,435	2,40	12	70,2	0,20
4	600	576	942	0,75	273	0,445	2,40	12	70,6	0,205
5	600	576	942	1,0	270	0,460	2,38	12	71,1	0,210
6	600	576	942	1,5	267	0,450	2,36	12	71,4	0,215
7	600	576	942	2,0	264	0,450	2,34	12	71,7	0,220
8	600	576	942	2,5	261	0,445	2,32	12	72,0	0,225
9	600	576	942	3,0	258	0,435	2,30	12	72,8	0,230
10	600	576	942	3,5	258	0,448	2,38	12	69,6	0,220
11	600	576	942	4,0	258	0,456	2,41	12	67,2	0,210

1. Разработаны эффективные золь-добавки на основе дисперсий разной природы, оказывающие на бетон активирующее и уплотняющее действие.

2. Золь-добавки, содержащие дисперсии на основе d-элементов, например золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$, увеличивают прочность при сжатии на 58 %, понижают общую пористость искусственного камня на 42 %, формируя мелкопористую структуру со средним размером пор $\approx 0,03$ мм, и увеличивают трещиностойкость материала, косвенной характеристикой которого является $K_{\text{ТР}} = 0,23$.

1. Сватовская Л.Б. Фундаментальные основы свойств материалов на цементной матрице. С-Пб., ПГУПС, 2006.
2. Степанова И.В. Разработка и применение новых зольсодержащих добавок для повышения качества бетонов разной плотности: Автореф. дис. канд. техн. наук. – С-Пб., 2004 г. – 24 с.
3. Василик П.Г., Голубев И.В. Особенности применения поликарбоксилатных гиперпластификаторов Melflux // Строительные материалы. – № 9. – 2003. – С. 23-25.
4. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы. – Ростов-на-Дону. Феникс, 2005.
5. Рамачандран Р., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение. – М.: Стройиздат, 1986. – 178 с.

К.В.ДЬЯКОВ, инж. (Южно-Уральский государственный ун-т)

Особенности технологии приготовления магнезиального базальтофибробетона

Получение эффективных строительных конструкций, к которым сегодня предъявляются все более высокие требования, может быть достигнуто применением технологий, использующих композиционные материалы. Одним из перспективных конструктивных материалов являются дисперсно-армированные бетоны. Дисперсное армирование осуществляется волокнами-фибрами, равномерно рассредоточиваемыми в объеме бетонной матрицы.

Представителем класса дисперсно-армированных бетонов является магнезиальный базальтофибробетон – композиционный материал, который получается при армировании магнезиальной цементно-песчаной матрицы базальтовым грубым волокном.

Магнезиальный цемент – каустический магнезиальный порошок, активно набирающий прочность при затворении его раствором хлористого магния. Поскольку затворение вяжущего производится раствором соли, приоритет отдан неметаллическим армирующим волокнам. Материалы на основе такого вяжущего обладают уникальными характеристиками: высокая конечная прочность ($R_{\text{сж}} > 40$ МПа, $R_{\text{изг}} > 10$ МПа), быстрый темп набора прочности (более 70 % от R28 в первые сутки твердения), высокая устойчивость к ударным и ди-

намическим нагрузкам, износостойкость, беспыльность, устойчивость к воздействию кислот и щелочей, микроорганизмов и грибов, высокая пластичность растворов смесей, высокие диэлектрические свойства [2]. Технологии, использующие композиционные материалы на основе магнезиального вяжущего, могут найти широкое применение при строительстве, реконструкции, внутренней отделке зданий и сооружений различного назначения.

На кафедре «Технология строительного производства» Южно-Уральского государственного университета выполнен комплекс исследований по получению магнезиальных бетонов с заданными свойствами, разработана технология устройства полов на их основе, проводятся исследования в области технологии армирования магнезиальных бетонов базальтовым грубым волокном.

Как и в традиционно армированных структурах, упрочнение волокнами основывается на предположении, что материал бетонной матрицы передает волокнам приложенную нагрузку посредством касательных сил, действующих по поверхности раздела, и, если модуль волокна больше модуля матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность ком-

позиции пропорциональна их объемному содержанию [4, 6].

Критической длиной волокна $L_{\text{кр}}$ называют минимальную длину волокон, при которой они разрушаются в композиционном материале (КМ). Величина $L_{\text{кр}}$ зависит от прочности связи между матрицей и волокнами и от диаметра волокон. Как показывают расчеты, уже при $L/L_{\text{кр}} = 10$ прочность композиционного материала с дискретными волокнами достигает 95% прочности материала с непрерывными волокнами [3, 4].

Основными параметрами, влияющими на качество фибробетонной смеси наряду с физико-механическими свойствами матрицы и армирующих волокон, являются: равномерность распределения волокон в смеси, предельная концентрация их в смеси (максимальный процент армирования, который может быть достигнут), «комкуемость» волокон (свойство их скапываться в комки-гранулы) в процессе перемешивания [1, 4, 5, 6].

Процесс изготовления дисперсно-армированных бетонов состоит из трех основных технологических этапов: получение фибровой арматуры, приготовление фиброармированной бетонной смеси, укладка смеси в форму. При рассмотрении в литературе основных методов приготовления и укладки

фибробетонных смесей, таких как: метод смешивания компонентов, метод виброэкструзии, метод напыления компонентов, метод контактного формования, метод вибропогружения волокна [1, 6] основное внимание уделяется проблеме слеживаемости волокон до введения в смеситель и скатывания волокон в комки-гранулы в процессе приготовления фибробетонной смеси.

Технологической особенностью базальтового грубого волокна является его хрупкость. В процессе перемешивания волокна не комкуются, а интенсивно дробятся, поэтому основное внимание предлагается уделять сохранению длин волокон, обеспечивающих требуемые конструкционные свойства базальтофибробетона. А систему смеситель – растворная смесь предлагается рассматривать как «измельчитель» для волокна.

Таким образом, основной задачей технологии приготовления базальтофибробетонной смеси является обеспечение геометрических характеристик волокон, соответствующих максимальной прочности композиционного материала. А именно, доля волокон с длиной $L = 10 \cdot L_{кр}$ должна быть максимальной.

В ходе экспериментов установлено, что на длину волокна оказывают влияние следующие факторы: вязкость растворной смеси, ее плотность, скорость перемешивания.

Для отслеживания качества базальтофибробетонной смеси и прогнозирования качества конструкций, ведется работа по выбору и обоснованию критерия, отражающего состояние волокон в смеси и непосредственно влияющего на физико-механические характеристики базальтофибробетона.

Библиографический список

1. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Стеклоцемент в строительстве. – Киев: Будівельник – 1986 – 96 с.
2. Королев А.С., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Горбаненко В.М. Теория и практика создания модифицированных магнетиальных цементов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура» Вып. 1. – 2001. – № 5 (05). – С. 10 – 13.
3. Карпинос Д.Н., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы. – Киев: Вища школа – 1977 – 312 с.
4. Пащенко А.А. Физико-химические основы композиции неорганическое вяжущее – стекловолокно. – Киев: Вища школа – 1979 – 224 с.
5. Пащенко А.А., Сербин В.П. Использование стеклянных волокон для армирования неорганических вяжущих. – Киев: УкрНИИТИ, 1976.
6. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография – М.: издательство АСВ – 2004 – 560 с.

АРМАТУРА

С.О.СЛЫШЕНКОВ, инж. (НИИЖБ)

Хладостойкая арматура для железобетонных конструкций

Железобетонные конструкции и их основной элемент – арматура зачастую оказываются в экстремальных условиях эксплуатации в результате сочетания низких климатических температур, нагрузок динамического характера и нарушений технологии изготовления (строительного брака).

Сочетание низкой температуры и нагрузок динамического характера природного или техногенного происхождения является одним из основных факторов повышения вероятности хрупких разрушений стали, в том числе арматурного проката.

В качестве проката повышенной надежности известна арматура класса Ас-II из стали марки 10ГТ по ГОСТ 5781.

В настоящее время роль хладостойкой выполняет только арма-

тура класса А400 (А-III) из стали 25Г2С (и приравненная к ней арматура классов А400С и А500С с содержанием углерода не больше 0,22%). Эти стали могут применяться при действии динамической нагрузки при температуре не ниже 40°C со сварными стыками и без сварки (в вязанных каркасах и сетках) при температуре не ниже 55°C.

Создалась парадоксальная ситуация: в стране с огромными районами сурового климата (с расчетными температурами порядка минус 70°C) отсутствует хладостойкая арматура со свойствами, отвечающими всем современным требованиям при любой отрицательной климатической температуре.

Для применения в северных и восточных районах страны необходимо иметь современный арматурный прокат наиболее массового

использования класса А500С с возможностью применения его без ограничений до температуры минус 70°C, в том числе с применением сварки.

Для решения поставленной задачи были разработаны требования к хладостойкой стали, проведены экспериментальные исследования изменчивости свойств термомеханически упрочненной арматуры под влиянием отрицательных температур.

Представляется очевидным предъявлять к арматуре, предлагаемой для вышеназванных условий, специальные требования и, по аналогии со стальными конструкциями и ранее применявшейся арматурой класса Ас-II из стали 10ГТ, идентифицировать ее в качестве хладостойкой арматуры («северного исполнения») класса Ас-500С.

Механические свойства арматурных сталей при температурах +20 и -70°C

Ø, мм	Завод	Марка стали	Состояние	Свойства при t= -70°C				Свойства при t=20°C						
				σ_B	$\delta_5\%$	$\delta_p\%$	$\Psi, \%$	$\sigma_{0,05}$	$\sigma_{0,2}, \tau$	σ_B	$\delta_5\%$	$\delta_p\%$	$\Psi, \%$	
12	ЗСМК	Зсп	ТМО	715	25	11,7	61	553	553	645	25	10,6	63	
	ЗСМК	Зпс	ТМО	761	22	8,4	55	608	608	687	22	6,4	51	
	ЗСМК	25Г2С	ГК	658	32	18,6	45	421	421	553	35	18,7	60	
25	ЗСМК	Зпс	ТМО	795	23,7	9,5	57	478	558	729	20,1	7,8	54,3	
		ЗГпс	ТМО	816	21,4	6,8	51	507	614	769	17,6	8,2	54,1	
		25Г2С	ГК	693	31,5	19,8	55	428	428	624	33,7	20,2	60,4	
		ЗГсп	ТМО	764	—	12	49	550	573	688	23,4	10,3	53,4	
		ЗГсп	ТМО	812	—	10,6	51,6	203	619	738	21,0	9,0	59,0	
		БМЗ	ЗГпс	ТМО	754	26,1	12,2	50	576	576	683	21,6	11	—
		Северсталь	ЗГпс	ТМО	876	—	7,3	47	576	636	745	17,8	8,1	—
		Северсталь	35ГС	ГК	758	—	10,7	44	421	421	682	25,0	14,8	—
36	ЗСМК	18Г2С	ТМО	745	—	—	—	536	536	653	24,4	14,9	57,6	
		25Г2С	ГК	693	29,5	19,8	51	416	416	611	29,5	15,1	47,4	
40	БМЗ	ЗГсп	ТМО	811	—	9,5	76,1	538	585	744	19,7	8,7	41,5	
	ОЭМК	18Г2С	ТМО	966	18,1	10,5	71,1	716	758	885	16,6	6,2	53,3	
	Северсталь	ЗГпс	ТМО	808	23,4	14,5	52	610	610	720	20,8	10,2	46,6	
	ММЗ	ЗГсп	ТМО	789	18,8	12,7	53	507	557	720	20,2	9,9	55	

Нами разработан следующий комплекс дополнительных требований к хладостойкой арматуре:

1) Требования к ударной вязкости (причем, согласно международной практике, на основе испытаний образцов с острым (V-образным) концентратором) с браковочным значением 30 Дж/см².

2) Уменьшение, а для ряда способов сварки исключение разупрочнения, а также существенное снижение вероятности хрупких разрушений сварных соединений при низких отрицательных температурах.

3) Введение дополнительных испытаний на пластический изгиб образцов сварных крестообразных соединений ручной дуговой сваркой. Браковочная величина угла 90°.

4) Введение требований по величине равномерных удлинений после разрыва с браковочной величиной $\delta_p \geq 5\%$.

5) Ограничение максимального значения временного сопротивления стали величиной 700 Н/мм².

Характеристики механических свойств арматурных сталей при нормальной и отрицательной температурах определяли при растяжении образцов Ø12; 25; 36 и 40мм по ГОСТ 12004 с определением временного сопротивления σ_B , предела текучести σ_T , относительного

удлинения δ_p и δ_5 , а условных пределов упругости $\sigma_{0,02}$ и $\sigma_{0,05}$, длины площадки текучести l_T – только при температуре +20°C.

Для обеспечения требуемой температуры испытания, за которую принимали температуру образцов в момент их установки в захваты испытательной машины, образцы переохлаждались. Степень переохлаждения обеспечивала требуемую температуру испытаний -70°C. Время испытания одного образца – от момента его извлечения из термостата до разрыва – составляло не более 60 с.

Результаты испытаний (средние значения), приведенные в таблице, показали, что понижение температуры сопровождается ростом прочности металла (σ_B и σ_T). Абсолютные значения характеристики прочности σ_B с понижением температуры до -70°C возрастают на 65-100МПа. Относительное удлинение δ_p с понижением температуры до -70°C для термомеханически упрочненных сталей увеличивается на 10-30%, а δ_5 на 0-20% по всем диаметрам, исключение – диаметры 12 и 25 мм, сталь марки ЗГпс. Для горячекатаной арматурной стали значения характеристик пластичности снижаются: δ_p на 1-28% и δ_5 на 0-9%.

Увеличение относительного удлинения при понижении темпера-

туры в климатическом диапазоне до -70°C у термомеханически упрочненных сталей, в отличие от горячекатаной стали, объясняется различной структурой и субструктурой материалов, плотностью и характером распределения несовершенств строения кристаллической решетки, в первую очередь, дислокаций [1].

Особенностью термомеханически упрочненной арматурной стали является такая дислокационная структура, в которой при упрочнении из-за торможения дислокаций в связи с понижением температуры субграницы способны пропускать через себя дислокации. Тело зерна разделено на мельчайшие равноосные субзерна с малоугловатыми субграницами, представляющие собой плоские сетки дислокаций, т.е., в отличие от хаотического движения дислокаций в кристаллической решетке горячекатаной стали, движение дислокаций в кристаллической решетке термомеханически упрочненной арматурной стали является направленным [1]. Этим объясняется отсутствие снижения относительного удлинения при температуре -70°C с увеличением прочности.

Термомеханически упрочненные стали по степени сохранения способности к равномерному пластическому деформированию при

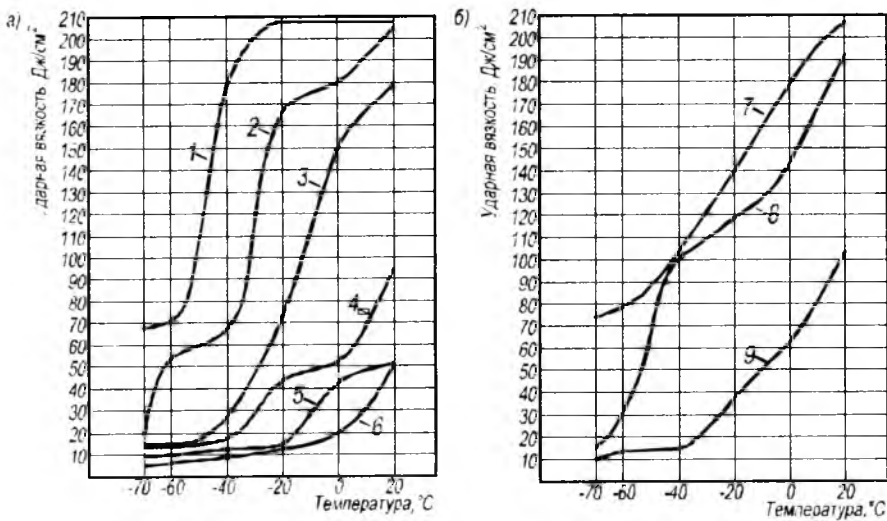


Рис.1. Температурные зависимости ударной вязкости

а – стержни $\varnothing 25\text{мм}$; б – стержни $\varnothing 36-40\text{мм}$
 1 – 3Гсп (тмо, с повышенными σ_s и σ_m); 2 – 3Гсп (тмо); 3 – 3Гпс (тмо); 4 – 3Гпс (тмо) Северсталь; 5 – 25Г2С (зк); 6 – 35ГС (зк); 7 – 18Г2С (тмо); 8 – 3Гпс (тмо) Северсталь; 9 – 25Г2С (зк).

понижении температуры в климатическом диапазоне превосходят горячекатаные.

Зависимость в значениях сужения сталей не установлена. С понижением температуры до -70°C сужение в месте образования шейки изменяется незначительно. Наибольшим относительным сужением обладает термомеханически упрочненная сталь марки 3сп.

Оценку чувствительности стали к хрупким разрушениям под влиянием низких температур определяли испытаниями на ударный изгиб по ГОСТ 9454 в диапазоне климатических температур от $+20$ до -70°C на образцах 1 и 11 по ГОСТ 9454, соответствующих международной практике. Испытаниям на ударный изгиб подвергались образцы из сталей, указанных в таблице.

Из результатов испытаний (рис.1) видно, что влияние на склонность к хрупкому разрушению оказывает степень раскисления стали. Спокойная сталь с большей степенью раскисления менее склонна к хрупкому разрушению. Кроме этого, на ударную вязкость оказывает влияние содержание углерода. Увеличение содержания углерода в стали приводит к снижению ударной вязкости и повышению критической температуры хладноломкости. За критическую

температуру хладноломкости принимали температуру, при которой хотя бы один образец имеет ударную вязкость ниже 20 Дж/см^2 [2].

Стоит отметить, что повышение содержания марганца до 1,5% повышает ударную вязкость стали и понижает температуру перехода ее в хрупкое состояние. Благоприятное влияние марганца (при содержании 1,0-1,5%) на понижение склонности стали к хрупкому разрушению объясняется уменьшением величины зерна [3,4,5].

Характерно, что термомеханическое упрочнение в процессе проката положительно влияет на ударную вязкость и критическую температуру хрупкости, изменяя форму и распределение структурных со-

ставляющих в α -растворе. Это указывает на то, что чувствительность стали к хрупким разрушениям определяется не только химическим составом, но и ее структурным состоянием. При термомеханическом упрочнении происходит уменьшение величины зерна и повышение однородности распределения в зерне субмикроскопических частиц [1], что является одним из основных факторов, снижающих температуру хрупкости и повышающих ударную вязкость стали.

Метод определения склонности стали к хрупким разрушениям на стандартных образцах 1 и 11 по ГОСТ 9454 не позволяет установить критическую температуру хрупкости соответствующей условиям разрушения арматурных стержней, так как в применяемых образцах отсутствует соответствие размерам и условиям работы элемента, находящегося в реальной конструкции.

Условность испытаний преодолевается использованием нестандартного образца ЦНИПС [2] с сохранением натурной поверхности арматурного проката и присущих ему особенностей, влияющих на его работу при динамических нагрузках (рис.2). Результаты испытаний образцов ЦНИПС приведены на рис.3.

Необходимо отметить, что температура порога хладноломкости испытанных сталей на образцах ЦНИПС снижается, по сравнению с установленной на стандартных образцах.

Испытаниями образцов ЦНИПС также установлено положительное влияние термомехани-

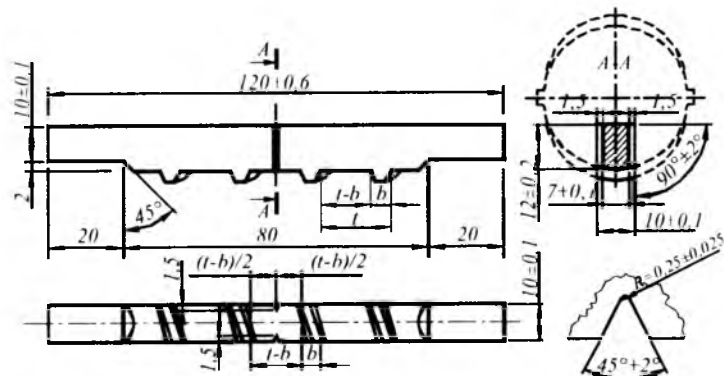


Рис.2. Образец ЦНИПС для испытаний на ударный изгиб для арматурного проката диаметром 16-40 мм (размеры t и b – фактический шаг выступов периодического профиля и ширина выступов арматурного проката)

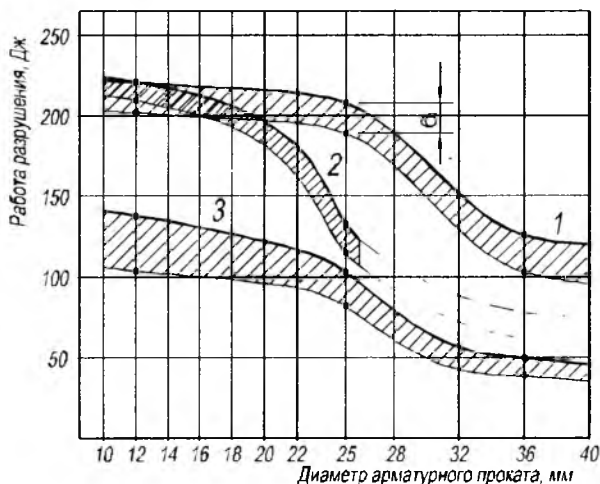


Рис. 3. Зависимость работы разрушения образцов ЦНИПС при -70°C от диаметра стержня

1 – СтЗсп (тмо); 2 – Зпс (тмо); 3 – 25Г2С (зк); σ_x – среднее квадратическое отклонение результатов испытаний

ческого упрочнения в процессе проката на ударную вязкость стали. Из зависимости рис. 3 отчетливо видно превосходство термомеханически упрочненной арматурной стали над горячекатаной для диаметров от 10 до 40 мм.

Для малых диаметров (10-16 мм) термомеханически упрочненной арматурной стали не обнаружено влияние химического состава на ударную вязкость и температуру хрупкости. С увеличением диаметра, начиная с 18 мм, лучшими показателями ударной вязкости обладают спокойные стали. С увеличением диаметра прослеживается монотон-

ное снижение ударной вязкости как у термомеханически упрочненных, так и у горячекатаных сталей. Таким образом, среди исследованных марок термомеханически упрочненной стали наилучшими показателями по отсутствию хрупких разрушений при отрицательной температуре являются следующие марки: для арматуры диаметром 12 мм - СтЗсп, 25 мм - СтЗГсп, 36 мм - 18Г2С.

В целом результаты настоящих исследований при низких отрицательных температурах, с учетом предыдущих исследований и накопленного опыта применения арматуры, позволяют рекомендовать в ка-

честве хладостойкой («северного исполнения») арматуры со следующими характеристиками:

- низкоуглеродистая;
- высокой степени раскисления (спокойная);
- марганецсодержащая (1,0-1,5%);
- термомеханически упрочненная.

Для термомеханически упрочненной хладостойкой арматуры класса Ас500С рекомендуем следующие марки стали:

для диаметров 10-18 мм – СтЗсп;

для диаметров 20-28 мм – СтЗГсп;

для диаметров 32-40 мм – 18Г2С.

Библиографический список

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. Металлургия, М., 1983, 4791с.
2. Соколовский П.И. Арматурные стали. Металлургия, М., 1964.
3. Садовский В.Д., Чупраков Н.П. Влияние легирующих элементов на ударную вязкость конструкционных сталей и явления хрупкости при отпуске. Труды института физики металлов УФАН СССР, 1949, вып. 6.
4. Делле В.А., Фрумер Л.А. Влияние легирующих элементов на свойства малоуглеродистой стали. // Сталь, 1948, №7.
5. Одесский П.Д., Ведяков И.И. Ударная вязкость сталей. «Интернет Инжиниринг», М., 2003.

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

К.З.ГАЛУСТОВ, главный научный сотрудник ОАО НИИЭС РАО ЕЭС

Учет ползучести бетона при расчете железобетонных конструкций современных АЭС

Современный развивающийся мир все больше становится зависимым от энергетики. Если раньше основными потребителями энергетических мощностей были страны с развитой экономикой, то в настоящее время дефицит электроэнергии стали испытывать и развивающиеся страны, так как в них переносятся наиболее энергоемкие производства из США и стран Западной Европы.

Многие регионы мира испытывают дефицит не толь-

ко электрической энергии, тепла, но и пресной воды. В ЕС и США разработаны различные документы по энергетической безопасности и международные программы диверсификации, регулирующие развитие энергетики с учетом перспективы. Большинство стран мира подписали Киотский протокол, ограничивающий загрязнение окружающей среды, влияющее на изменение климата на планете.

В современном мире более 60% электроэнергии

вырабатывается на тепловых электростанциях (ТЭС и ТЭЦ), использующих органическое топливо, сжигание которого приводит к загрязнению атмосферы и, как следствие, к потеплению климата.

Резкое повышение цен на органическое топливо (особенно на нефть и газ) привело к тому, что энергия, вырабатываемая на атомных электростанциях (АЭС), стала конкурентной, тем более что АЭС не являются источником загрязнения окружающей среды. Однако после аварии на Чернобыльской АЭС развитие атомной энергетики было остановлено. В ряде западных стран стали закрывать даже действующие АЭС, что привело к еще большему дефициту электроэнергии. Для преодоления проблемы развития АЭС были разработаны более строгие требования по их безопасности, созданы новые безопасные типы ядерных реакторов, системы управления их эксплуатацией, а также технологии их строительства и типы конструкций.

Известно, что при строительстве АЭС в качестве строительного материала для основных сооружений используют железобетон, также влияющий на их безопасность.

Для ускорения развития атомной энергетики, сокращения сроков строительства объектов и повышения их безопасности автором совместно с академиком Е.П.Велиховым и др. учеными разработана концепция развития новых современных АЭС, которая защищена патентами и авторскими свидетельствами [2, 3, 5].

Наша концепция предлагает размещать АЭС на берегу или шельфе морей, а также судоходных водоемов, так как при этом используется наплавной метод строительства АЭС и заводская технология возведения блок-модулей основных сооружений АЭС (например, блок-модули реакторных отделений – БМРО, машинного зала – БММЗ) и др.).

В современном мире работает 470 ядерных энергоблоков, 260 из которых находятся на берегу морей и океанов. Срок службы АЭС определяется ресурсом ядерных реакторных установок. По данным ряда организаций, к 2010 г. 114 прибрежных АЭС подлежат выводу из эксплуатации в связи с исчерпанием ресурса ядерных реакторов. Предлагаемая нами концепция развития новых типов АЭС решает и эту проблему, поскольку позволяет заменять БМРО после исчерпания их ресурса. Патент [2] решает и проблему нераспространения ядерного оружия, так как технология строительства наплавных АЭС позволяет перейти к принципу передачи БМРО стране-получателю энергии только в аренду.

Мощность одного энергоблока АЭС для развивающихся стран экономически целесообразно принять не более 100-300 МВт. В этом диапазоне мощностей можно использовать реакторы на быстрых нейтронах с теплоносителем свинец-висмут СВБР-75/100, которые ранее использовались на атомных подводных лодках и хорошо отработаны. Совокупный испытанный ресурс СВБР-75/100 – 80 реакторолет.

Расчеты показывают, что в XXI веке при дефиците электроэнергии и проблемах, связанных с необходимостью замены исчерпавших свой ресурс существующих реакторных установок, объем возможного рын-

ка нового типа АЭС в мире составит более 1,0 триллиона дол. США.

Концепция [2, 5] предусматривает осуществлять строительство основных наиболее ответственных блок-модулей АЭС по наплавной технологии. Строительство БМРО и БММЗ предлагается вести на стапельной площадке у прибрежного завода-изготовителя (например, судостроительный завод типа СЕВМАШ и др.), практически в заводских условиях по поточной технологии, где обеспечиваются высокое качество строительных и монтажных работ, а также установка технологического оборудования.

На заводе-изготовителе, например при строительстве БМРО, производятся монтаж и предварительные испытания технологических систем, оборудования и конструкций, в том числе проверка их на герметичность и т.д., а также лицензирование всех значимых технологических устройств. После завершения строительства блок-модулю, размещенному на стапеле в шлюзовом бассейне завода, придается соответствующая плавучесть.

Для этой цели на судостроительном заводе изготавливаются специальные средства плавучести, которые с помощью специальных устройств объединяются с БМРО в единый плавучий комплекс (ПК), отвечающий всем судовым требованиям. ПК позволяет доставлять БМРО по открытой морской воде к площадке прибрежной АЭС. Технология строительства и замены БМРО на АЭС описана в патентах [2, 5].

Выше отмечалось, что для обеспечения безопасности АЭС реакторное отделение размещается в защитной оболочке (ЗО). Обычно ЗО изготавливаются из предварительно напряженного железобетона. Для обоснования безопасности железобетонных сооружений, оценки их длительной трещиностойкости и герметичности необходимо правильно учитывать влияние ползучести бетона в предварительно напряженных железобетонных защитных оболочках. Для решения проблемы повреждения и безопасности ЗО АЭС можно использовать работы В.М.Бондаренко и А.В.Боровских [1].

Для обоснования проектных решений современных АЭС в НИСе ГИДРОПРОЕКТа были проведены различные теоретические и экспериментальные исследования. Они показали, что вследствие ползучести бетона во времени в ЗО АЭС наблюдается перераспределение напряжений между бетоном, арматурой и герметичной металлической облицовкой. Был разработан метод расчета [3], позволяющий при проектировании ЗО АЭС прогнозировать перераспределение напряжений и прогнозировать длительную трещиностойкость ЗО.

В стадии эксплуатации, когда у внутренней поверхности ЗО отсутствует аварийное давление, напряженное состояние из трехосного состояния переходит в двухосное. Анализ проектов показал, что начальное напряженное состояние в теле бетона у большинства ЗО имеет следующее значение:

$$\sigma_Q \approx 2\sigma_z \text{ и } \sigma_{\pi}^{\max} \leq 0,05\sigma_Q \quad (1)$$

В стадии эксплуатации ЗО максимальные радиаль-

ные напряжения настолько малы, что задача может решаться в постановке двухосного напряженного состояния по всему сечению.

Ожидалось, что перераспределение напряжений вследствие ползучести бетона будет происходить не только между бетоном и арматурой, но также и по толщине бетонного сечения [7]. Исследования показали, что различие ординат в эпюрах напряжений в бетоне на внутренней и наружной поверхностях отличаются незначительно (не более 2%). Имеет место центральное сжатие по каждому из направлений. Влияние купола и днища ЗО сказывается на ограниченной зоне их сопряжения с цилиндрической частью оболочки.

Из расчетной схемы ЗО следует, что диагонально расположенная предварительно напряженная арматура за счет предварительной вытяжки создает на железобетонном теле ЗО давления $g_Q(t)$ и $g_z(t)$, которые могут быть выражены через начальное усилие N , действующее в пучках:

$$g_Q = \frac{2N \cos^2 \alpha}{bh} \quad (2)$$

$$g_z = \frac{2N \sin^2 \alpha}{h \delta_1} = g_Q \tan^2 \alpha \frac{b}{\delta_1},$$

где N - усилие в пучках; α - угол наклона пучка; h - расстояние между пучками; h_1, h_2 - вертикальные и горизонтальные проекции пучка; b - наружный радиус оболочки; δ_1 - толщина оболочки.

Напряжения в бетоне соответственно выражаются:

$$\sigma_{bQ} = \frac{2N \cos^2 \alpha}{h \delta_1 (1 + m \mu_Q)} \quad \text{и} \quad \sigma_{bz} = \frac{2N \sin^2 \alpha}{h \delta (1 + m \mu_z) h_1}, \quad (3)$$

$$\text{где } \mu_Q = \frac{F_{aQ}}{F_{bQ}}, \quad \mu_z = \frac{F_{az}}{F_{bz}}, \quad m = \frac{E_a}{E_b}$$

Деформации защитной оболочки во времени с учетом ползучести, согласно нелинейной теории ползучести бетона [2], выразятся следующим образом:

$$\begin{aligned} \epsilon_b(t) = & K^* + \lambda \int_{\tau_1}^t \sigma_{bQ}(\tau) K(t, \tau) d\tau - \\ & - \lambda_1 \int_0^{\max \sigma} \sigma_{bQ}(t) F[t(\sigma)] d\sigma \end{aligned} \quad (4)$$

Решение интегрального уравнения относительно напряжений для бетона старого возраста получено [2] в виде:

$$\sigma_{bQ}(t) = U e^{-\varphi t} + Q e^{-\delta t} + R e^{-(\varphi + \delta)t} + S, \quad (5)$$

где U, Q, R, S - вычисляемые и обозначаемые коэффициенты [3].

В результате полученных решений [3] напряжения в конструктивной арматуре выражаются следующим образом:

$$\sigma_{aQ}(t) = \sigma_{aQ}(\tau_1) \left\{ 1 + \frac{1}{m \mu_Q} [1 - H_B(t, \mu_Q, \tau)] \right\} \quad (6)$$

$$\sigma_{AZ}(t) = \sigma_{az}(\tau_1) \left\{ 1 + \frac{1}{m \mu_z} [1 - H_b(t, \mu_z, \tau)] \right\},$$

где $H(t, \mu, \tau)$ - функция релаксации напряжений в бетоне; $\sigma_a(t)$ - напряжения в обычной арматуре.

$$\begin{aligned} H_b(t, \mu, \tau) &= \frac{\sigma_b(t)}{\sigma_b(\tau_1)} = \\ &= \frac{U e^{-\varphi t} + Q e^{-\delta t} + R e^{-(\varphi + \delta)t} + S}{U + Q + R + S} \end{aligned} \quad (7)$$

$$H_a(t, \mu, \tau) = \frac{1}{m \mu_Q} [1 + m \mu_Q - H_b(t, \mu, \tau)]$$

Показано, что функция релаксации напряжений в бетоне и арматуре зависит от начального напряженного состояния, вычисляемых коэффициентов и параметров, характеризующих деформативные свойства бетона.

Для уточнения полученных решений в качестве примера расчета была рассмотрена защитная оболочка 5-го блока Ново-Воронежской АЭС, так как на этом блоке НИС ГИДРОПРОЕКТА проводил специальные натурные исследования. Они позволили получить фактическое изменение напряжений в бетоне и арматуре, которые показали, что при принятом фактическом проценте армирования косвенной арматурой (0,0085) в ЗО вследствие ползучести бетона (за рассматриваемый промежуток времени) напряжения в кольцевой арматуре увеличились в 2,32 раза. Расчетное ожидаемое увеличение напряжений по предлагаемой теории равно 2,16 раза, а по наследственной теории старения — 1,8 раза.

Разработанная теория расчета позволяет прогнозировать длительную трещиностойкость железобетонной защитной оболочки.

Прогнозы показывают, что установка не предусмотренного расчетом количества косвенной арматуры в теле ЗО при аварийной ситуации в реакторном отделении (когда давление в ЗО достигнет 4,6 атм) может привести к образованию трещин и нарушению герметичности в оболочке.

Исследования показали, что по истечении 5 лет эксплуатации в защитной оболочке 5-го блока Ново-Воронежской АЭС сформировалось такое напряженное состояние, которое не требует повторного натяжения пучков, предусмотренного проектом. Возможность образования трещин в ранее нагруженной железобетонной конструкции (после ее разгрузки) прогнозировалась ранее и подтверждалась рядом других экспериментов на сжатых железобетонных колонах. В монографии [3] приводятся опытные данные длительного испытания центрально сжатых образцов и натуральных железобетонных колон, проведенного МНИИТЭП. Сравнение расчетных (теоретических) значений функций изменения напряжений в арматуре с экспериментальными показывает, что погрешность расчетов не превышает 3%.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что проектирование ответственных железобетонных сооружений (типа АЭС, железобетонных реакторов и др.), эксплуатация которых существенно влияет на безопасность окружающей среды, следует осуществлять с учетом ползучести бетона, так как перераспределение напряжений между бетоном и арматурой вследствие ползучести бетона может привести к образованию трещин и нарушить герметичность защитной оболочки.

Библиографический список

1. Бондаренко В.М. Боровских А.В. Износ, повреждение и безопасность железобетонных сооружений. Учебное пособие. Московский институт коммунального хозяйства и строительства. Москва, 2000.

2. Велихов Е.П., Галустов К.З. и др. Способ возведения крупноблочного сооружения в прибрежной зоне водоема и плавкомплекс для осуществления способа. Патент на изобретение № 2195531.

3. Галустов К.З. Нелинейная теория ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций", Изд-во Физматлит, Москва, 2006.

4. Галустов К.З. О нелинейности деформации ползучести бетона//Бетон и железобетон. – 1971. – № 10..

5. Галустов К.З. и др. Морская энергетическая установка и способ ее возведения //Патент на изобретение № 1712534, приоритет 18.05.1989.

6. Галустов К.З. Решение задачи о перераспределении напряжений между арматурой и бетоном во времени//Строительная механика и расчет сооружений. – 1985. – № 6.

7. Гвоздев А.А., Чистяков Е.А. Шубин П.В. Исследование деформаций и несущей способности гибких сжатых железобетонных элементов с учетом длительной нагрузки. – М. Прочность и жесткость железобетонных конструкций, труды НИИЖБ, 1971.

А.И.ПОПЕСКО, д-р техн. наук, проф. (ООО ИКФ "АЛЬТЕРНАТИВА"); О.И.АНЦЫГИН, канд. техн. наук (ГОУВПО "СПбГАСУ"); А.А.ДАЙЛОВ, канд. техн. наук (26 ЦНИИ Минобороны России)

Численный расчет железобетонных стержней при коррозионных воздействиях

При разработке проектов по реконструкции, а также при возобновлении работ на объектах, строительство или реконструкция которых были прекращены несколько лет назад, необходимо тщательно учитывать техническое состояние конструкций, находившихся в эксплуатации. Практика обследований показывает, что одной из основных причин снижения несущей способности железобетонных конструкций является влияние агрессивных воздействий окружающей среды. Наиболее неблагоприятным результатом такого воздействия является химическая коррозия железобетона. В промышленно развитых странах ущерб от коррозии оценивается в 3...5% от валового национального дохода, при этом 13...19% приходится на долю строительных конструкций. В настоящее время влияние химической коррозии на несущую способность железобетонных конструкций при обследовании оценивается ориентировочно. Поверочный расчет железобетонных конструкций нормирован СНиП 2.03.01-84, в которых отсутствуют главы по расчету железобетонных конструкций с учетом влияния химически агрессивных сред на их несущую способность.

В основу разработанного алгоритма расчета положен подход нелинейной теории железобетона Р.С. Санжаровского с использованием феноменологических зависимостей, характеризующих работу железобетона в химически агрессивных средах, предложенных А.И. Попеско, а также подход А.В. Носарева к дискретизации рассчитываемых систем в пространстве и процессов деформирования во времени.

Рассматриваемая конструкция разбивается по длине на ряд участков (блоков-отсеков), на границах которых предполагается наличие тонких, но жестких на изгиб из своей плоскости, диафрагм. Продольными плос-

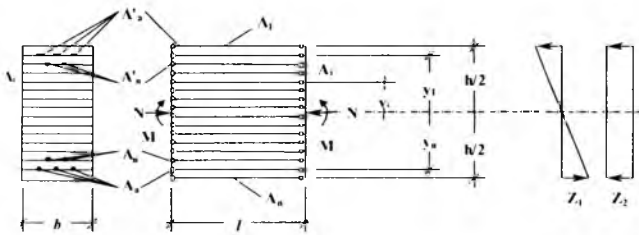
костями каждый блок-отсек делится на ряд полос, которые, как полагается, работают в тех же условиях, что и при отсутствии разрезов. Арматура представляется самостоятельными полосами, работающими исключительно на растяжение или сжатие и имеющими жесткую связь с бетоном только в районе жестких диафрагм. Деление продольными плоскостями может отсутствовать, и тогда блок-отсек бетона воспринимается как одна единая полоса. В зависимости от выбора расчетной схемы принимается, что полосы бетона и арматуры жестко или шарнирно соединены с диафрагмами. При этом степень неопределимости системы зависит от ее внешней статической или кинематической неопределимости и числа полос, на которые разделены по высоте блоки-отсеки.

Гипотеза плоских сечений вводится только дискретно – считается, что плоскими сохраняются лишь сечения, которые разделяют рассматриваемую конструкцию на отдельные блоки-отсеки (характерные объемы) с длиной l , зависящей от характера эпюр силовых факторов.

Допускается, что рабочая арматура имеет связь с бетоном конструкции лишь в отмеченных плоских сечениях (жестких диафрагм); в пределах отсеков сцепления арматуры с бетоном нет.

Каждый характерный объем делится по высоте горизонтальными плоскостями на слои, заменяемые в расчетной схеме стержнями с площадью, равной площади поперечного сечения слоя; количество продольных стержней в расчетной схеме, заменяющих слои бетона и стержни или группы стержней арматуры, может быть различным в зависимости от требуемой точности расчета.

По высоте рассматриваемого элемента заменяю-



Расчетная схема с шарнирным соединением

щие стержни могут быть расположены неравномерно: гуще там, где ожидается наибольшее проявление нелинейных эффектов.

Система стержней, имеющая шарнирное соединение с жесткими диафрагмами (см. рисунок), воспринимает только деформации сжатия или растяжения, деформации изгиба не учитываются. Система стержней в рассматриваемом виде не может воспринимать поперечной силы, поэтому в расчетной схеме, предназначенной для раскрытия статической неопределенности с учетом только двух первых членов формулы Мора, рассматриваемую систему параллельных стержней нужно условно дополнить продольной стенкой, работающей только на сдвиг.

Следует подчеркнуть, что расстояние между диафрагмами лучше принимать равным расчетному расстоянию между трещинами первой очереди, так как данную модель можно использовать при расчетах на прочность, трещиностойкость и деформативность, т.е. с единых позиций оценивать предельные и эксплуатационные состояния.

Принимается допущение о существовании границы, разделяющей здоровый и корродирующий бетоны. Влияние агрессивной среды на бетон рассматривается как фактор, изменяющий во времени его деформативные и прочностные свойства. Количественной характеристикой процесса коррозии бетона является глубина его нейтрализации. В случае кратковременного нагружения зависимость между напряжениями и деформациями бетона аппроксимируется полиномом пятой степени.

При описании процесса работы бетона при длительном нагружении используется нелинейное уравнение теории старения И.И.Улицкого. Для учета влияния длительных процессов на напряженно-деформированное состояние конструкции рассматриваемый период времени (t) разбивается на несколько интервалов. В пределах каждого из них считается, что напряженное состояние конструкций не меняется, а соответствующая часть конечной характеристики ползучести φ^∞ , определенной из диаграмм σ - ε и ε - t , реализуется в конце каждого этапа.

Количественной характеристикой коррозии арматуры являются коррозионные потери рабочего диаметра стержня. Физико-механические характеристики стальной арматуры под влиянием агрессивной среды не изменяются. Для описания закона деформирования арматуры с физическим пределом текучести принимается кусочно-линейная зависимость.

Внешнее воздействие в общем случае представляется в виде изгибающего момента M и нормального

усилия N , приложенных в любой точке (лучше – по середине высоты). Понятие центра тяжести сечения не имеет смысла, так как учитываются нелинейные эффекты. Разрушение моделируется с использованием критерия устойчивости в виде равенства вариаций внешних и внутренних моментов, а также условий прочности по ограничению величины предельных деформаций крайнего сжатого волокна здорового бетона и растянутой арматуры. При заданных M и N расчетная схема наиболее просто решается методом перемещений, где в качестве неизвестных Z_1 и Z_2 приняты соответственно поворот кромок, окаймленных диафрагмами относительно середины их высоты, и линейное смещение этих кромок.

Система канонических уравнений метода перемещений имеет вид:

$$\begin{cases} Z_1 \cdot r_{11} + Z_2 \cdot r_{12} + r_{1p} = 0 \\ Z_1 \cdot r_{21} + Z_2 \cdot r_{22} + r_{2p} = 0, \end{cases}$$

где

$$r_{1p} = -M; \quad r_{2p} = -N; \quad r_{11} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (A_i \cdot E_i \cdot y_i^2);$$

$$r_{12} = r_{21} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (A_i \cdot E_i \cdot y_i); \quad r_{22} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n (A_i \cdot E_i);$$

A_i – площадь поперечного сечения отдельных стержней, входящих в расчетную схему; E_i – условный модуль упругости каждого из стержней расчетной схемы, изменяемый в процессе расчета; y_i – расстояние от середины высоты сечения до центров тяжести соответствующих стержней; λ – длина характерного объема.

Представляя исходные данные в виде векторов и матриц и вводя вектор единиц U порядка n , где n – число стержней в расчетной схеме, все формулы можно представить в матричном виде:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ M \\ y_n \end{bmatrix}; \quad V = \begin{bmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \\ M \\ y_n^2 \end{bmatrix};$$

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & & 0 \\ & A_2 & \\ & & M \\ 0 & & & A_n \end{bmatrix}; \quad U = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ M \\ 1 \end{bmatrix}; \quad E = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ M \\ E_n \end{bmatrix},$$

а при нахождении из расчета вектора ε с использованием диаграмм σ - ε для бетона и арматуры получить вектор σ , т.е. фактическую эпюру напряжений как по высоте бетонного сечения, так и в арматуре.

Использование матричного аппарата предполагает определение на каждом этапе векторов M и N . Вектор M включает изгибающие моменты, зафиксированные на стадии упругого расчета и изменяющиеся под действием ползучести и коррозионных воздействий только в полосах бетона последовательной цепи блоков-отсеков, а вектор N – как в бетоне, так и в арматуре. При этом в случае шарнирной связи полос с диафрагмами в блоке-отсеке матричная запись формул для оп-

ределения M и N претерпит некоторую трансформацию, но суть ее остается той же. Учет влияния ползучести в рассматриваемом интервале времени сводится к реализации дополнительных усилий. Соответствующая часть конечной характеристики ползучести вводится в матрицы релаксаций (или в матрицы податливости, если расчет ведется методом сил).

Стержни, деформации которых на каком-либо этапе приближения превышают предельные, из рассмотрения не исключаются, но их модуль деформации принимается весьма малым. Таким образом, влияние такого стержня на напряженно-деформированное состояние бесконечно мало, но в то же время он присутствует в расчете; это необходимо, так как в процессе последовательных приближений легко можно потерять разорвавшийся стержень из рассмотрения, хотя на последующих этапах, сохрани его, деформации в нем могут и уменьшиться.

Для растянутых или сжатых (от нагрузки или усилий предварительного обжатия) стержней бетона и арматуры необходимо обращаться к своим диаграммам σ - ε растяжения или сжатия.

В случае наличия преднапряжения необходимо произвести расчет на усиления предварительного обжатия (σ_0, σ'_0), а при дополнительном нагружении внешней нагрузкой учитывать изменяющуюся степень влияния преднапряжения на прочность элемента в целом в зависимости от стадии работы составляющих материалов: упругой, упруго-пластической и пластической (предельной).

Данный алгоритм позволяет учитывать линейную и нелинейную ползучесть, сравнительно просто определять потери преднапряжения в арматуре от ползучести и усадки, а также теоретически устанавливать для конструкции равновесное напряженно-деформированное состояние.

В соответствии с вышеописанным алгоритмом расчета создана и реализована программа для ЭВМ, позволяющая полностью автоматизировать расчет и оценку напряженно-деформированного состояния железобетонных стержневых конструкций при работе их в условиях коррозионных воздействий (Свидетельство РФ об официальной регистрации программ для ЭВМ №2002611131).

Памяти Владимира Ивановича Бабушкина (1930-2007)

18 марта 2007 г. ушел из жизни один из крупнейших ученых с мировым именем в области строительного материаловедения и теории коррозии бетона и железобетона, лауреат государственных премий, член ряда Академий, доктор технических наук, профессор Владимир Иванович Бабушкин.

В.И.Бабушкин начал свою трудовую, преподавательскую деятельность в 1953 г. в Харьковском политехническом институте. Долгое время он совмещал интенсивную научно-исследовательскую работу в области бетона и железобетона с преподаванием в Харьковском инженерно-строительном институте, где в течение десятков лет работал на должности проректора по научной работе и заведовал кафедрой строительных материалов и изделий.

С именем ученого связаны основополагающие работы и исследования в области термодинамики силикатов, физической химии строительного материаловедения и научных основ процессов коррозии и долговечности бетона и железобетона. В течение многих лет В.И.Бабушкин плодотворно сотрудничал с коллективом лаборатории коррозии НИИЖБ, руководимой В.М.Москвиным.

За цикл работ, посвященных научным аспектам обеспечения качества и долговечности сооружений массового строительства из бетона и железобетона и внедрение результатов работ в практику строительства, В.И.Бабушкин совместно с группой сотрудников НИИЖБ в 1984 г. был удостоен Государственной премии СССР в области науки и техники. В 1993 г. он стал лауреатом Государственной премии Украины за цикл работ «Термодинамические и термокинетические основы строительного материаловедения».

Наряду с созданием фундаментальных научных ос-

нов коррозии, старения и износа бетона, железобетона и других силикатных материалов под руководством В.И.Бабушкина были разработаны и внедрены новые антикоррозионные расширяющиеся и безусадочные составы растворов и бетонов, бетонные трубы повышенной стойкости и долговечности, бетонная черепица, облицовочные плиты и другие строительные материалы и изделия. Велик его вклад в разработку способов и приемов катодной защиты железобетона, защиты от микробиологической коррозии и др.

Ученый оставил значительное научное литературное наследство. Его фундаментальный труд «Термодинамика силикатов» многократно переиздавался на русском языке и переведен на английский, немецкий и китайский языки. Он автор монографий по физической химии процессов коррозии и долговечности бетона, железобетона и строительных конструкций. Им опубликовано 350 научных работ, получены многочисленные авторские свидетельства и патенты, а также диплом на открытие.

В.И.Бабушкиным создана научная школа по теоретическим основам коррозии строительных силикатных материалов и строительного материаловедения, подготовлено 39 кандидатов и 10 докторов наук.

В.И.Бабушкина отличала принципиальность в науке, в научных дискуссиях и спорах. Вместе с тем он был открытым и доброжелательным человеком, ему были присущи оптимизм и жизнерадостность, готовность прийти на помощь советом и делом.

Светлая и благодарная память о В.И.Бабушкине надолго останется в сердцах тех, кому посчастливилось соприкоснуться с ним по жизни и по работе.

Дирекция и сотрудники НИИЖБ

К вопросу оценки несущей способности эксплуатируемых железобетонных конструкций, поврежденных коррозией

Строительные конструкции, эксплуатируемые в агрессивных средах, как правило, получают коррозионные повреждения и вследствие этого теряют исходное силовое сопротивление. Применительно к железобетонным (и бетонным) конструкциям кинетика коррозионных повреждений бетона – скорость и глубина и, следовательно, остаточный ресурс силового сопротивления – существенно зависят от уровня и знака напряженно-деформированного состояния бетона. У сжатого бетона проницаемость до определенного уровня действующих напряжений намного ниже, чем у растянутого бетона. Более того, при сжатии, осуществляемом в пределах линейного деформирования, за счет уплотнения бетона и уменьшения его пористости продукты коррозии большинства химагрессоров, продвигаясь в глубь бетонного тела, колюматируют поры и этим уменьшают проницаемость бетона, скорость продвижения и глубину повреждения с постепенным обнулением скорости и фиксации предельной глубины. Однако при увеличении напряжений сжатия происходит разрушительная деструктуризация и повышение проницаемости бетона, что приводит к снижению описанного колюматационного эффекта и постепенному изменению типа повреждений – колюматационный тип повреждений трансформируется в фильтрационный, при котором происходит беспрепятственное продвижение коррозии.

Заметим, что существуют и другие агрессивные физические воздействия на бетон, при которых происходит его лавинное повреждение с полным разрушением. Однако количественная оценка такого лавинного процесса чрезвычайно осложнена отсутствием достаточных публикаций.

Исходное уравнение кинетики повреждений, введенное в теорию силового сопротивления эксплуатируемых железобетонных элементов В.М.Бондаренко [1]:

$$\frac{d\Delta\delta(t)}{dt} = -\alpha[\Delta\delta(t)]^m, \quad (1)$$

$$\text{где } \Delta\delta(t) = \frac{\delta_{кр}(t_0) - \delta(t, t_0)}{\delta_{кр}(t_0)} = 1 - \frac{\delta(t, t_0)}{\delta_{кр}(t_0)}; \delta_{кр}(t_0) = 1 - \frac{\delta(t_0)}{\delta_{кр}(t_0)} \quad (2)$$

– текущий относительный дефицит повреждений, соотносимый к критическому значению; $\delta(t)$ – текущая глубина повреждений; $\delta_{кр}(t_0)$ – критическое значение повреждений (при колюматационном типе кинетики равно $\delta_{кр}(\infty, t_0)$ и зависит от уровня напряженного состояния); t_0, t – время начала наблюдений и время текущего наблюдения; α, m – параметры кинетики повреждений, зависящие от уровня напряженного состояния [2].

После разделения переменных уравнение (1) имеет вид

$$\delta(t) = f(\alpha, m, t)\delta_{кр}(t_0) \quad (3)$$

Для $m > 0$ и $\alpha < 0$ (кольматационный тип) оно дает при $m \neq 1$

$$f_m(t) = 1 - \left\{ \left[\Delta\delta(t_0, t_0) \right]^{(-m)+1} + \alpha \left[(-m) + 1(t - t_0) \right] \right\}^{\frac{1}{(-m)+1}} \quad (4)$$

Причем при $m=1$ и $\alpha < 0$

$$f_{m=1} = \left[1 - \Delta\delta_{кр}(t_0) e^{-\alpha(t-t_0)} \right], \quad (5)$$

что ранее было получено эмпирически другими авторами.

А для $m=0$ и $\alpha < 0$ (фильтрационный тип)

$$f_{m=0} = \left[\frac{\delta(t_0)}{\delta_{кр}(t)} + \alpha(t - t_0) \right]. \quad (6)$$

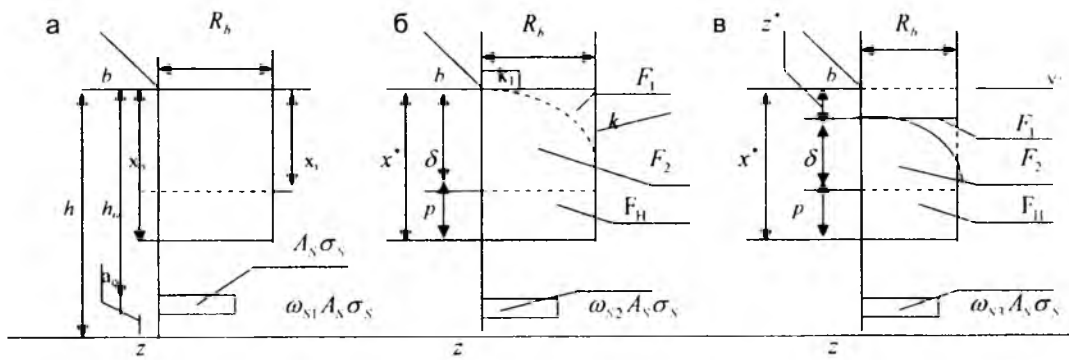
Реализацию полученных результатов покажем в задаче, которую можно считать основной – случай одностороннего, со стороны сжатых волокон, воздействия агрессивной среды на изгибаемый железобетонный элемент при колюматационном типе коррозионных повреждений (согласно Е.А. Гузееву, П.Г. Комахову, сжатая зона бетона разделена на три слоя: полного повреждения, частичного повреждения, неповрежденного).

а) исходное состояние до начала коррозионного повреждения бетона и арматуры ($\kappa_1=1$; $\omega_{s1}=1$); исходное состояние до начала коррозионного повреждения бетона ($\kappa_1=1$), но с учетом возможного коррозионного повреждения арматуры ($\omega_{s1} < 1$);

б) эксплуатационное состояние, соответствующее началу коррозионного повреждения сжатого бетона ($\kappa_1 < 1$) и с учетом коррозионного повреждения арматуры ($\omega_{s2} < 1$);

в) эксплуатационное состояние, соответствующее полному коррозионному разрушению фибрового слоя сжатого бетона ($z^* \geq 0$ и $\kappa_1=0$) и с учетом коррозионного повреждения арматуры ($\omega_{s3} < 1$).

Обозначения на рисунке: R_b – предельная прочность сжатого бетона; σ_s – расчетное напряжение в растянутой арматуре (при $x \leq x_R$ принимается $\sigma_s=R_s$); x_0, x_1, x^* – высота сжатой зоны бетона, соответствующая исходному состоянию (а); то же, но при поврежденной растянутой арматуре; то же при коррозионном повреждении сжатого бетона – состояния (б) и (в); b, h, h_0, α_0 – геометрические размеры поперечного сечения элемента (ширина, высота, рабочая высота, толщина защитного слоя арматуры); A_s, ω_s – исходная площадь рабочей растянутой арматуры, коэффициент коррозионного повреждения арматуры; V – ось отсче-



Схемы предельного по прочности напряженного состояния изгибаемого железобетонного элемента прямоугольного поперечного сечения с одиночной арматурой

та глубины коррозионного повреждения; z – ордината по высоте; z – высота разрушенного слоя бетона; k – функция коррозионного повреждения, отражающая снижение сопротивления сжатию в зоне повреждений (k_1 – фиксированное значение доли сохранения предела прочности бетона на сжатие на уровне оси отсчета V); P – высота неповрежденного слоя сжатого бетона ($P = x^* - (z^* + \delta)$ (7)); F_2 – величина утерянного силового сопротивления сжатия слоя z^* ; F_1 – величина утерянного за счет коррозии силового сопротивления сжатия переходного слоя; F_2 – величина сохраненной части силового сопротивления сжатию переходного слоя; F_H – величина полностью сохраненного силового сопротивления сжатию неповрежденного слоя.

Причем k_1 при $z^* = 0$ или z^* находятся инструментально при натурном обследовании.

Функция коррозионных повреждений разыскивается в виде полинома

$$k = \sum_{i=0}^{i=2} \alpha_i z^i, \quad (8)$$

в которой параметры α_i находятся из условий:

$$\begin{aligned} \text{при } z = 0 \quad k &= k_1 \\ \text{при } z = \delta \quad k &= 1; \quad \frac{dk}{dz} \Big|_{z=\delta} = 0, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{откуда } \alpha_0 = k_1; \alpha_1 = \frac{2(1-k_1)}{\delta}; \alpha_2 = -\frac{1-k_1}{\delta^2} \quad (10)$$

Теперь

$$F_2 = \int_0^{\delta} kbR_b dz = \frac{2+k_1}{3} \delta bR_b, \quad (11)$$

$$F_H = bpR_b = bR_b(x^* - z^* - \delta) \quad (12)$$

Причем, вместо сжатой зоны сечения находятся из условия

$$\Sigma F_1 = 0 \quad (13)$$

Тогда для состояния (а) при $\omega_S = 1$

$$x_0 = \frac{A_S \sigma_S}{bR_b} \quad (14)$$

для состояния (а) при $\omega_S < 1$

$$x_1 = \frac{\omega_{s1} A_S \sigma_S}{bR_b} \quad (15)$$

для состояния (б) при $z^* = 0$ и $k_1 > 0$

$$x^* = x_1 + \frac{1-k_1}{3} \delta \quad (16)$$

для состояния (б) при $z^* > 0$ и $k_1 = 0$

$$x^* = x_1 + \frac{1}{3} \delta \quad (17)$$

для состояния (в) при $z^* > 0$ и $k_1 > 0$

$$x^* = x_1 + z^* + \frac{1}{3} \delta \quad (18)$$

Поскольку еще не изучены проницаемость и антикоррозионное сопротивление растянутого бетона, а также сжатого бетона, подвергнутого предшествующему растяжению, а переход от кольматационных повреждений к фильтрационному вероятен, постольку в число условий решаемой задачи вводятся ограничения

$$\delta_{кр} \leq x_1 \quad (19)$$

Совокупность полученных данных позволяет вычислить остаточный ресурс силового сопротивления рассматриваемого железобетонного элемента, имеющего коррозионное повреждение.

Так как вероятность разрушения изгибаемого элемента по нормальному сечению или наклонному сечению одинакова, то исследуем последовательно оба возможных случая, а затем проанализируем результаты.

Прочность по нормальному сечению

Для этого, располагая величинами сил сопротивления, необходимо установить расстояния (плечи моментов) каждой из них до расчетной оси.

Расстояния от оси V до центров тяжести сил F_2, F_H, F_3 равны:

$$\begin{aligned} \text{-для } F_2 \\ r_{V,2} = \frac{0}{\delta} \frac{b \int_0^{\delta} kz dz}{b \int_0^{\delta} k dt} = \frac{(5+k_1)}{4(2+k_1)} \delta, \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \text{-для } F_H \quad r_{V,H} &= x^* - (z^* + \delta + \frac{1}{2} p), \text{ где} \\ p &= x^* - (z^* + \delta) \end{aligned} \quad (21)$$

$$\text{Тогда } r_{V,H} = \frac{1}{2} (x^* - z^* - \delta)$$

- для F_3 (растянутой арматуры) $r_{V,3} = h_0 - z^*$ (22) или расстояние от точек приложения этих же сил до центра тяжести растянутой арматуры

$$\begin{aligned} r_{S,2_s} &= h_0 - (z^* + r_{v2}); \\ r_{S,H} &= h_0 - (z^* + r_{vH}) = h_0 - \frac{1}{2}(x^* + z^* - \delta) \\ r_{S,S} &= 0 \end{aligned} \quad (23)$$

Отсюда искомым ресурс остаточного моментного силового сопротивления, рассчитанный относительно центра тяжести растянутой арматуры

$$M^* = F_2 r_{S2} + F_H r_{SH},$$

или после подстановки и преобразования получаем

$$M^* = \left[\frac{7}{8} \delta^2 - \frac{2}{3} x_1 \delta + x_1 (h_0 - z^* - \frac{1}{2} x_1) \right] b R_b \quad (24)$$

Прочность по наклонному сечению

Из трех возможных видов разрушений изгибаемого железобетонного элемента: раздробление главными сжимающими напряжениями сжатого бетона; излом при слабой или недостаточно заанкерванной продольной рабочей арматуры; сдвиговые разрушения выберем третий вид, без "отгибного" армирования, который, как известно, относится к нормативно обязательной проверке.

Тогда

$$Q^* = Q_{SW}^* + Q_b^*, \quad (25)$$

где Q^* – остаточный ресурс силового сопротивления поврежденного железобетонного элемента по вертикальному срезу; Q_{SW}^* – доля этого ресурса, приходящаяся на поперечную арматуру; Q_b^* – доля этого ресурса, приходящаяся на срезаемую часть поврежденного бетона.

Согласно действующим строительным правилам, можно записать:

$$Q_{SW}^* = \sum \omega_{SW} A_{SW} R_{SW} = q_x^* c \quad (26)$$

$$q_x^* = \frac{\omega_{SW} A_{SW} R_{SW}}{S}; \quad Q_{SW}^* = \omega_{SW} A_{SW} R_{SW} \frac{c}{S}$$

$$Q_{SW}^* = \frac{k^*}{c}; \quad k^* = \varphi (h_0 - z^*) N_{bt}^* \quad (27)$$

$$N_{bt}^* = b [(h_0 - z^*) R_{bt} - F_{1,1}] F_{1,1} = \frac{1 + k_1}{3} \delta b R_{bt}$$

где c – горизонтальная проекция наклонной трещины; s – расстояние между поперечными армирующими стержнями; $\varphi \approx 1.5$ – интегральный эмпирический корректирующий коэффициент; R_{bt} – предел прочности бетона на растяжение.

Теперь искомое сопротивление поврежденного сечения поперечной силе получит запись

$$Q^* = q^* c + \frac{k^*}{c}, \quad (28)$$

для которой значение c находится из условия минимизации (28) по c

$$\frac{d^* Q}{dc} = 0, \text{ т.е. } c = \sqrt{\frac{k^*}{q_{SW}^*}} \quad (29)$$

При соблюдении условия (19) разрушение элемента происходит в момент совпадения по величинам усилий от внешних нагрузок с соответствующими величинами остаточного ресурса силового сопротивления (24) или (28).

$$M_0 = M^* \text{ или } Q_0 = Q^*, \quad (30)$$

где M_0 и Q_0 – значения действующих от внешних нагрузок усилий.

Значение глубин повреждений при этом находятся с помощью решений (30) относительно δ^*

$$\text{так } \delta_M^* = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (31)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{7}{8}; \quad b = -\frac{2}{2} x_1; \quad c = x_1 (h_0 - z^* - \frac{1}{2} x_1) - \frac{M_0}{b R_b} \quad (32)$$

$$\text{или } \delta_Q^* = 3(h_0 - z^*) - \frac{Q_0^2}{2(h_0 - z^*) b q_{SW} R_{bt}} \quad (33)$$

Разрушение железобетонного элемента, поврежденного коррозией (19), определяется наименьшей из двух величин (31) и (33) значением глубины повреждения. Экспозиция разрушения находится решением (3) относительно $(t^* - t_0)$; в частности, для (5) получается

$$t^* - t_0 = \frac{1}{2} \ln \frac{\Delta \delta(t^*)}{\Delta \delta(t_0)} \quad (34)$$

Случай равновероятного разрушения по нормальному и по наклонному сечениям определяется для конкретной конструкции и конкретного нагружения равенством

$$\delta_M^* = \delta_Q^* \quad (35)$$

Так, например, для равномерно нагруженной силами q однопролетной шарнирно опертой балки пролетом l

$$M_0 = \frac{q l^2}{8}; \quad Q_0 = \frac{q l}{2}; \quad (36)$$

После подстановки (36) в (35), (31) и (33) получается биквадратное уравнение, из которого следует

$$l_{zp} = \sqrt{\frac{-d + \sqrt{d^2 - 4ac}}{2a}}, \quad (37)$$

где l_{zp} – граничная величина пролета;

$$\alpha = \left[\frac{3^3}{2^6 (h_0 - z^*) b R_{bt} q_{SW}} \right]^2; \quad (38)$$

$$d = \frac{3^3}{2^5 (h_0 - z^*) b R_{bt} q_{SW}^*} - \frac{3^7}{2^3 b R_{bt} q_{SW}^*} - \frac{q}{2 b R_{bt}};$$

$$c = \left[\frac{3^4}{2^3} (h_0 - z^*)^2 \right] - \left(\frac{2}{3} x_1 \right)^2 - 9 (h_0 - z^*) x_1 -$$

$$- \left[\left(\frac{2}{3} x_1 \right)^2 - \frac{7}{8} x_1 (h_0 - z^* - \frac{1}{2} x_1) \right]$$

Заметим, что в данном случае величина q_{SW}^* корректируется учетом q равномерной нагрузки.

Оказывается, что при $l < l_{zp}$ опасно разрушение по наклонному сечению, а при $l > l_{zp}$ – по нормальному сечению.

Библиографический список

1. Бондаренко В.М., Ягунов Б.А. Некоторые вопросы силовых повреждений, конструктивной безопасности и живучести железобетонных сооружений, "Академия. Архитектура и строительство", РААСН, Москва, 2006, № 3.
2. Бондаренко В.М., Мигаль Р.Е. Силовое сопротивление наклонных сечений поврежденных коррозией изгибаемых железобетонных элементов. Сб. трудов РААСН, 2006.

К 60-летию Б.Д. Тотурбиева



15 мая 2007 г. исполнилось 60 лет **Тотурбиеву Батырбий Джакаевичу** – заведующему кафедрой «Материаловедения и технологии конструкционных материалов» Дагестанского государственного технического университета, доктору технических наук, профессору, академику Международной и Российской инженерных академий, чл. – корр. Академии тех-

нологических наук – крупному ученому в области строительного материаловедения и технологии жаростойких бетонов.

Трудовую деятельность он начал после окончания Махачкалинского строительного техникума в 1966 г. мастером, затем прорабом и начальником участка, а после окончания в 1972 г. Дагестанского государственного университета – главным инженером крупного строительного управления. Непосредственно участвовал в строительстве ремонтно-механического и железобетонного заводов и других промышленных, гражданских и сельскохозяйственных предприятий.

Проявляя склонность к научно-исследовательской работе, в 1978 г. он защитил кандидатскую диссертацию, а затем в 1988 г. – докторскую диссертацию на тему: «Жаростойкие бетоны на силикат-натриевом композиционном вяжущем» в МГСУ (МИСИ им. В.В. Куйбышева); в 1989 г. ему присвоено ученое звание профессора. Перейдя к научно-педагогической деятельности, с 1977 г. он работал старшим преподавателем, доцентом, а с 1981 г. по настоящее время – заведующий кафедрой Дагестанского государственного технического университета. Одновременно в разные годы он возглавлял Дагестанское отделение КТБ НИИЖБ Госстроя СССР, Дагестанский инженерный центр Минводхоза СССР и Дагестанское отделение Российской инженерной академии.

Большинство разработанных им технологий и материалов (А.с. № 1294797, А.с. № 1351907, А.с. № 1337365, Патент № 1507756, Патент № 1701693, Патент № 1715763, Патент № 2082699) внедрено в производство, их результаты применяются в промышленности и строительстве со значительным экономическим эффектом, исчисляемым сотнями млн. рублей.

Безобжиговые огнеупоры (жаростойкие бетоны), созданные научной школой Б.Д. Тотурбиева, нашли практическое применение в ряде стран Ближнего и Дальнего зарубежья (Украина, Казахстан, Белоруссия, Польша, Болгария, Германия и др.) в целях футеровки тепловых агрегатов промышленности строительных материалов, металлургической («Донбасдомнаремонт», Ждановский металлургический комбинат, НПО «Тулачермет») и нефтехимической промышленности.

По результатам его научных разработок в Дагестане построены и действуют цеха по производству бесцементного вяжущего, стеновых материалов, жа-

ростойких бетонных блоков, безобжиговой черепицы; строится учебно-научно-производственный комплекс ДГТУ; созданы акционерное общество «САД» (учредитель АО СММ министерства обороны России), государственное унитарное научно-производственное предприятие «Стройматериалы» Госстроя РД, ЗАО «Научно-производственное предприятие».

Под его научным руководством в ДГТУ создана госбюджетная научно-исследовательская лаборатория «Бесцементные строительные материалы и жаростойкие бетоны». Результаты научных исследований после обсуждения на НТС Госстроя СССР (протокол №47 от 29.11.84 г.) легли в основу нового научного направления «Создание бесцементных строительных материалов и жаростойких бетонов различного функционального назначения по наукоемким энергосберегающим, безотходным и экологически чистым технологиям», и в 1986 г. в Махачкале проведено Всесоюзное координационное совещание (Академия наук СССР, Госстрой СССР, МВ и ССО РСФСР, МПСМ РСФСР, НИИЖБ Госстроя СССР, ДагПТИ и др.) по теме: «Жаростойкие бетоны на бесцементных и смешанных вяжущих».

Профессор Б.Д. Тотурбиев как ученый и педагог создал свою научную школу. Под его руководством подготовили и защитили диссертации 18 кандидатов и 2 доктора технических наук. Он является автором более 200 научных трудов, в том числе 8 монографий и учебных пособий, 32 патентов и авторских свидетельств на изобретения. Участвовал в работе более 20 российских и международных научно-практических конференций, в том числе за последние годы: Международные научно-практические конференции, Пенза, 2001-2006 гг.; Международная научная конференция AFES, Франция, Париж, 2004; Материалы десятих академических чтений РААСН, Пенза-Казань, 2006.

Он являлся председателем специализированного Совета ДГТУ К.064.01.04 по защите кандидатских диссертаций, а в настоящее время стал членом специализированного совета КМ-212.245.01 по специальности 05.23.05 Северо-Кавказского государственного технического университета.

За плодотворную научную работу, высокие достижения в научно-педагогической деятельности и положительные практические результаты, внедренные в производство, юбиляр неоднократно награждался знаками государственного комитета Российской Федерации по народному образованию, двумя серебряными медалями ВДНХ, ему присуждена Государственная премия в области естественных наук и техники РД и почетные звания «Заслуженный инженер России», «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации» и «Заслуженный деятель науки Республики Дагестан».

Друзья, коллеги и ученики Батырбия Джакаевича сердечно поздравляют его с юбилеем и желают крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

Контролируя качество работ Вы контролируете свои деньги!

Приборы для неразрушающего контроля бетона и железобетона

Продажа, обслуживание, выполнение работ

Мировой лидер - фирма **PROCEQ** (Швейцария)



proceq

Система молотков Шмидта

Контроль прочности любого вида конструкций в диапазоне 0,2-70 Н/мм².

TORRENT

Контроль проницаемости бетона и железобетона

CANIN

Обнаружение коррозии арматуры.

PROFOMETER-4

Поиск арматуры, измерение её диаметра и определение толщины защитного слоя бетона.

DYNA

Измерение адгезии к бетону покрытий любого типа, а также определение усилия на выдергивание/смещение анкеров.

TICO

Ультразвуковой контроль сборных и монолитных железобетонных конструкций.

RESI

Измерение электрического сопротивления железобетона для оценки наличия и степени коррозии.

DYNA-ESTRICH

Испытание стяжки перед устройством наливных полов и других покрытий.

Продукция **PROCEQ** имеет сертификат качества ISO 9001 и отвечает требованиям нормативных документов Швейцарии, России, Германии, Великобритании, США и других стран.



Триада - Холдинг



Россия, 123308, Москва, проспект Маршала Жукова, дом 6, стр. 2
Тел.: (495) 956-18-52, 956-15-04 Факс: (495) 234-38-84
www.triada-holding.ru E-mail: trihold@comail.ru

Эксклюзивный представитель в России и СНГ

Редакционная коллегия: Ю.М.Баженов, В.Г.Батраков, В.М.Бондаренко, Ю.С.Волков,
В.В.Гранев, В.Г.Довжик, А.И.Звездов, К.В.Михайлов, Ю.П.Назаров, В.А.Рахманов,
А.С.Семченков, Р.Л.Серых (главный редактор), А.Г.Тамразян В.Р.Фаликман, Ю.Г.Хаютин,
А.А.Шлыков (зам.главного редактора)

Подписано в печать 31.05.07. Формат 60x88¹/₈. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1
Усл.печ.л. 4,0 Заказ №

Почтовый адрес редакции:
125829, ГСП, Москва, Ленинградский проспект, 64, офис 309

E-mail: magbeton@rambler.ru; <http://vlib.ustu.ru/beton>

Тел. (495)155-0345; 703-9762

Отпечатано в ОАО Московская типография № 9
109033, Москва, Впочаевская ул., д.40



Фирма «Триада-Холдинг» в течение 15 лет успешно работает на рынке лабораторного оборудования для испытания строительных материалов и изделий и является эксклюзивным поставщиком высококачественных профессиональных приборов немецкой фирмы «Form-Test».

Фирма предлагает широкий спектр установок для определения физических, механических и технологических свойств бетонных и растворных смесей, бетонов, строительных растворов, вяжущих и других строительных материалов.

УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ И ИЗГИБ



MEGA 20-200-10 DM 1-S

Комбинированная установка с автоматическим управлением для испытания на сжатие/изгиб бетонных образцов



ALPHA 3-3000 S

Установка для испытания бетонных образцов на сжатие. Автоматическое управление, цифровой дисплей



Комбинированная установка для испытания на сжатие/изгиб бетонных и цементных образцов



UPB 86/200

Универсальный испытательный блок для проведения и демонстрации различных видов испытаний строительных материалов (бетона, цемента, древесины, стали)



UPB 93/160

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДУХА, ВОВЛЕЧЕННОГО В БЕТОН



Объем 8 л



УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА

Для образцов кубов с ребрами 150 и 200 мм и цилиндров 150 и 200 мм



УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСАДКИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ И ВЕРТИКАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ



Для образцов размерами 40x40x160 мм, с индикатором часового типа, возможностью вывода данных на принтер

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ИСТИРАНИЕ



Круг истирания Бёме, размеры 890x760x890мм; масса 500 кг; 3/380 В



размеры 350x350 мм; масса 23 кг; 3000 об/мин., ножной выключатель



размеры 330x520 мм; масса 34 кг; 9000 об/мин., Таймер

ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ И СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО И ГИПСОВОГО ТЕСТА



Прибор Вика с иглой и пестиком
 $D_{игл} = 1,13$ мм
 $D_{пестика} = 10$ мм



Автоматический прибор Вика с записывающим устройством на 30 погружений



Прибор Вика с иглой для испытания строительного гипса



Стандартный конус D 100/200 мм, высотой 300 мм



Измеритель жесткости (вискозиметр), масса 96 кг; 220В/50 Гц

УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБООУКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ



Триада-Холдинг

Россия, 123308, Москва, пр-т Маршала Жукова, дом 6, стр. 2.
Тел. (495) 234-16-10, 946-32-76, 946-33-92 Факс (495) 234-38-84
E-mail: trhold@comail.ru www.triada-holding.ru



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Лицензия Госстандарта РФ
на изготовление средств
измерений №000110-ИП

Индекс 70050

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03

Измерители прочности бетона методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Оснащены функциями ввода коэффициента совпадения Kс, типа контролируемого изделия, вычисления класса бетона В. Диапазон: 3... 100 МПа

ПОС-2МГ4П

Измеритель прочности ячеистых бетонов методом вырыва спирального анкера. Предусмотрена возможность корректировки результатов испытаний в зависимости от влажности бетона. Диапазон: 0,5... 8 МПа

ПОС-30(50)МГ4 "Отрыв"

Измерители прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690. Диапазон: 5... 100 МПа

ПОС-30(50)МГ4 "Скол"

Измерители прочности бетона методами скалывания ребра и отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690. Диапазон: 5... 100 МПа

ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-40(60)МГ4

Измерители силы натяжения высокопрочной арматуры классов Вр-II (В-II), К-7 методом поперечной оттяжки по ГОСТ 22362. Диаметр контролируемой арматуры: 3... 5 (6... 9) мм

ЗИН-МГ4

Измеритель напряжений в арматуре частотным методом по ГОСТ 22362. Диаметр контролируемой арматуры: 3... 32 мм. Длина: 3... 18 м

ПРИБОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ИТП-МГ4 "100/250"

Измерители теплопроводности и термического сопротивления материалов при стационарном режиме по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда по ГОСТ 30256. Диапазон: 0,02... 1,5 Вт/м·К

ИТП-МГ4.03 "Поток"

Измеритель плотности тепловых потоков по ГОСТ 25380 пятиканальный с режимом самописца (до 15 суток). Диапазон измерения плотности тепловых потоков: 5... 999 Вт/м². Температуры: -30... +100°C

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ТГЦ-МГ4.01, ТЦЗ-МГ4.01

ТГЦ-МГ4.01 измеритель влажности и температуры воздуха с режимом самописца (до 24 часов). Диапазон измерения влажности: 0... 99%. Температуры: -20... +85°C.
ТЦЗ-МГ4.01 термометр цифровой зондовый одно- и двухканальный с режимом самописца (до 15 суток) диапазон: -30... +250°C

Влагомер-МГ4

МГ4Д - измеритель влажности древесины (13 видов) по ГОСТ 16588
МГ4Б - измеритель влажности бетона, кирпича (13 видов), древесины (13 видов) по ГОСТ 21718, 16588
МГ4Зонд - измеритель влажности сыпучих материалов
МГ4У - универсальная версия с настройками на древесину, бетон и сыпучие материалы. Диапазон измерения влажности: 1... 60%

ИПА-МГ4.01

Измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры в ЖБ конструкциях по ГОСТ 22904. Диапазон измерения защитного слоя: 3... 140 мм при диаметре стержней 3... 50 мм

ПСО-МГ4

Измеритель прочности сцепления (адгезии) защитных и облицовочных покрытий с основанием по ГОСТ 28089, 28574. Максимальное усилие отрыва: 2,45/4,9/9,8 кН

Анемометр ИСП-МГ4.01

Измеритель скорости воздушных потоков и их температуры с режимами самописца (до 24 часов) и вычисления расхода воздуха в вентиляционных системах. Диапазоны измерения: скорости потока: 0,4... 30 м/с. температуры: -20... +100°C

ПГМ-100 / ПГМ-500 / ПГМ-1000

Прессы испытательные гидравлические малогабаритные на 100, 500 и 1000 кН. Снабжены электрическим приводом (сеть 220В, 50Гц) и тензометрическим силовым измерителем. Диапазон нагрузок: 1... 100/5... 500/10... 1000 кН

Приборы сертифицированы, имеют автономное питание, энергонезависимую память результатов измерений, связь с ПК.

454084 г. Челябинск, а/я 8538, ул. Калинина 11-Г офис 5. тел/факс (351) 790-16-13, 790-16-85, в Москве (495) 964-95-63, 220-38-58; в Санкт-Петербурге ООО "Скоробогатов и К" (812) 764-64-72 e-mail stroypribor@chel.surnet.ru http://www.stroypribor.ru