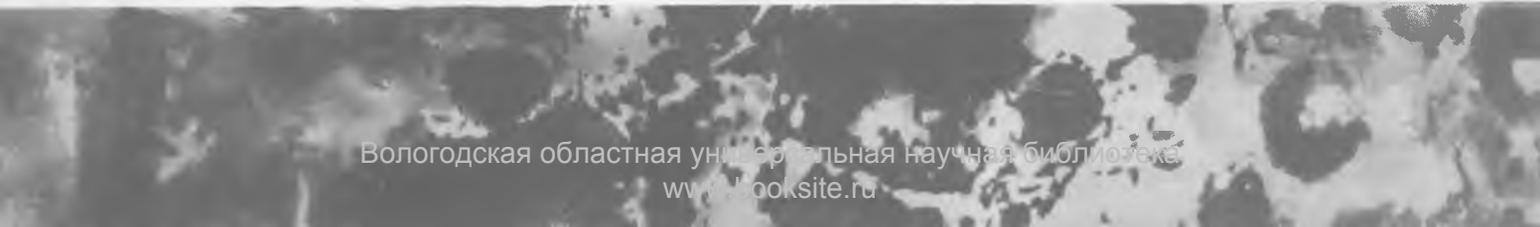
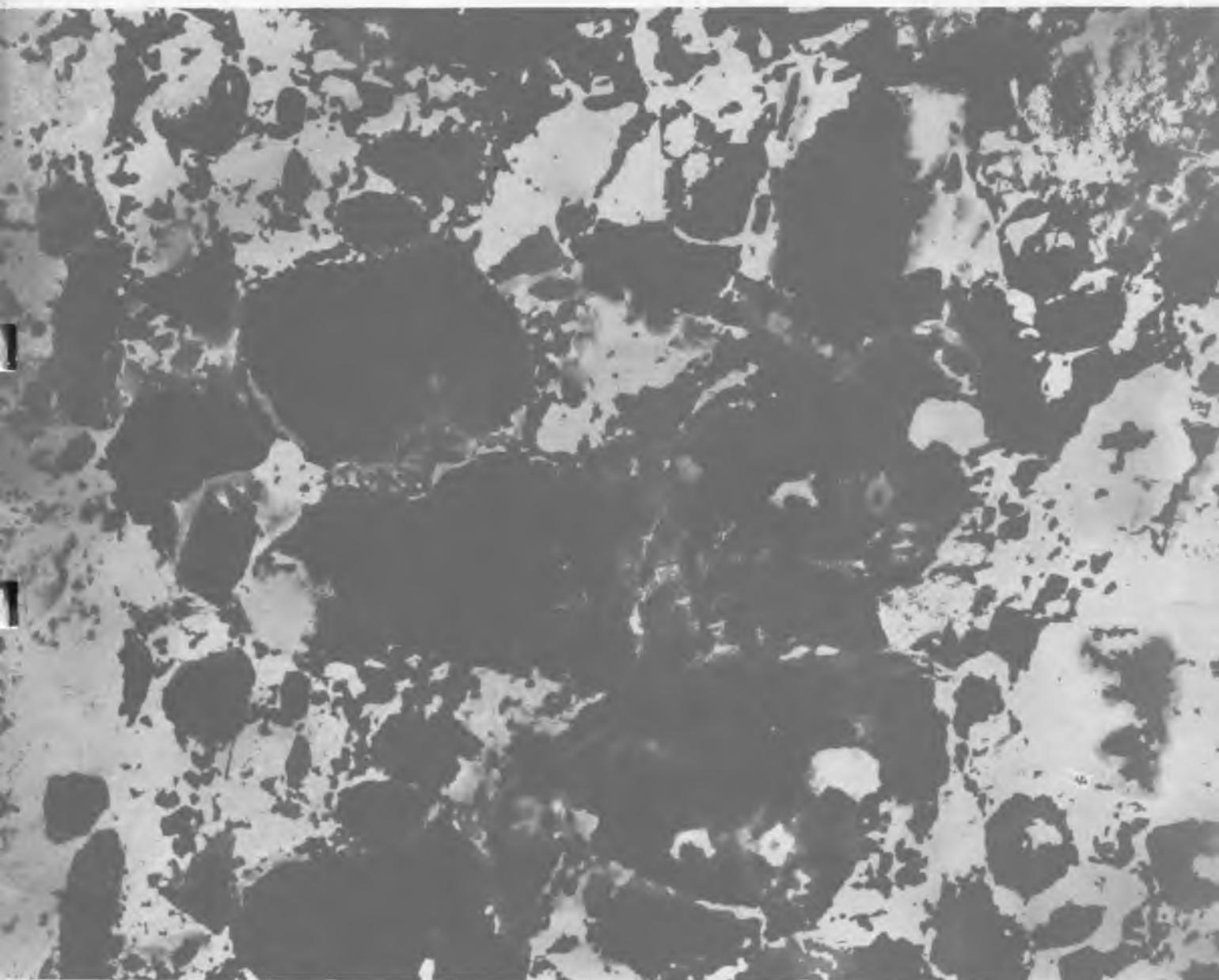


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

2
2005





НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ

ИНТЕРПРИБОР

ПРОИЗВОДСТВО И РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ
ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

⊗ **ПУЛЬСАР-1.1** - прибор ультразвуковой. Измерение прочности строительных материалов (ГОСТ 17624 и ГОСТ 24332), дефектоскопия, режим измерения поверхностных трещин

⊗ **ОНИКС-2.5** - измеритель прочности бетона по ударному импульсу и отскоку (ГОСТ 22690), 1...100 МПа

⊗ **ОНИКС-ОС** - измеритель прочности бетона отрывом со скалыванием (ГОСТ 22690), 5...100 МПа, масса прибора 4 кг

⊗ **ПОИСК-2.5** - измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры (ГОСТ 22904)

ВИБРАН-2.0 - виброанализатор, 1...1000 Гц, 200 линий спектра

⊗ **ВИСТ-2.4** - виброметр, диапазон частоты 2...500 Гц, амплитуды 0,01...3 мм, среднеквадратичной виброскорости 0,1...500 мм/с

⊗ **ИНК-2.4** - измеритель напряжений в арматуре частотным методом (ГОСТ 22362), 120...1700 МПа, автоматический расчет требуемого удлинения арматуры

⊗ **МИТ-1** - измеритель теплопроводности методом теплового зонда (ГОСТ 30256), 0,025...2 Вт/м²К

ИТС-1 - измеритель теплопроводности методом стационарного теплового потока (ГОСТ 7076), 0,02...1,5 Вт/м²К

⊗ **ВИМС-2.21** - влагомер универсальный: песок, глина, бетон, древесина - более 20 материалов, ГОСТ 21718

⊗ **ВИМС-2.12** - влагомер для бетона, кирпича, цементной стяжки, древесины - более 20 материалов, ГОСТ 21718

⊗ **ВИМС-2.11** - влагомер древесины: более 10 пород древесины, ГОСТ 16588

РТМ-5 - система автоматического управления термообработкой бетона, 8 каналов, по индивидуальному режиму, автоматически ведется журнал пропарки

ТЕРЕМ-4 - многоканальный регистратор, 8...256 каналов. Области применения:

- регистрация процессов электропрогрева бетона;
- измерение сопротивления теплопередаче строительных конструкций;
- мониторинг раскрытия трещин зданий и сооружений;
- др. (измерение температуры, влажности, давления, механических напряжений, теплового потока, перемещений)

Все приборы имеют:

- простоту и удобное меню;
- память результатов измерений с фиксацией времени и даты измерений;
- связь с компьютером и специальные программы для их дальнейшей обработки и архивации.

Приборы выпускаются в нескольких модификациях, отличающихся набором сервисных функций и ценой (при сохранении метрологических характеристик).

МТП-1 - измеритель толщины теплоизоляции на стальных трубах и величины ее осевого смещения (ГОСТ 30732)

ВДЛ-5.2 - вихретоковый дефектоскоп металлов

ТЕМП-3 - термометры (измерение температур жидких, газообразных, текучих сред, контактное измерение температуры поверхностей, -55...+125...+600 С), и термогигрометры (диапазон влажности 0...100%)

⊗ **ТЕРЕМ-3**, **РТВ-2**, **РТ-2** - терморегистраторы и терморегуляторы

Приборы сертифицированы. Приборы, отмеченные знаком ⊗ занесены в Государственный реестр средств измерений

454080, Челябинск-80, а/я 12771

E-mail: carat@chel.surnet.ru

http://www.interpribor.ru

т./ф: (3512) 655-638, 608-74

629-169, 629-170

г. Москва НИИЖБ тел.: (095) 174-75-13

(095) 789-28-50

г. Санкт-Петербург тел. (812) 998-45-86

(812) 318-64-96

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
НИИЖБ, ВНИИжелезобетон

СОДЕРЖАНИЕ

БЕТОНЫ

ЖИТКЕВИЧ Р.К., ЛАЗОПУЛО Л.Л., ШЕЙНФЕЛЬД А.В., ФЕРДЖУЛЯН А.Г., ПРИГОЖЕНКО О.В. Опыт применения высокопрочных модифицированных бетонов на объектах ЗАО "Моспромстрой" 2

ФАЛИКМАН В.Р., СОРОКИН Ю.В., ГОРЯЧЕВ О.М. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства 8

АРМАТУРА

ШАШИН А.Ф. Замкнутые монтажные петли с угловым сварным соединением 12

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

ЗУЛПУЕВ А.М. Расчет изгибаемых плитных элементов и систем из них с учетом нелинейной работы по методу сосредоточенных деформаций 14

ЗЫРЯНОВ В.С., ТЕЛЬКОНУРОВ К.М. Расчет прочности плит перекрытий с краевой нагрузкой от наружных стен 17

ЗАВОДСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ПШЕНИЧНЫЙ Г.Н. Фактор времени при формировании железобетонных конструкций 20

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

КОЗЛОВ С.П., ЧИЧАЕВ А.В. Точное весовое дозирование сыпучих и жидких компонентов при производстве бетона 22

ЭКОНОМИЯ РЕСУРСОВ

ТРЕМБИЦКИЙ С.М. Энергоэффективные режимы теплотехнологии бетона и методы их реализации 26

ТЕОРИЯ

БЕГЛОВ А.Д., САНЖАРОВСКИЙ Р.С., БОНДАРЕНКО В.М. Ползучесть бетона и модели евростандартов 29

БИБЛИОГРАФИЯ

Новая книга об усилении железобетонных конструкций 32

Книга о гидроизоляции подземных сооружений 32

Р.К.ЖИТКЕВИЧ, Л.Л.ЛАЗОПУЛО (ЗАО «Моспромстрой»); А.В.ШЕЙНФЕЛЬД, А.Г.ФЕРДЖУЛЯН, О.В.ПРИГОЖЕНКО (НИИЖБ)

Опыт применения высокопрочных модифицированных бетонов на объектах ЗАО «Моспромстрой»

Переход от сборного к монолитному строительству предъявляет новые требования к качеству бетонных смесей и бетонов на всех этапах этого процесса.

Для повышения технологической обеспеченности проектных решений применяются бетоны нового поколения с высокими технологическими и эксплуатационными свойствами, с гарантированными показателями качества, которым отводится важная роль в сложных инженерных сооружениях XXI века.

Имеются в виду бетоны с высокими эксплуатационными свойствами, так называемые «High Performance Concrete», которые уже сегодня востребованы не только необходимостью выдерживать возрастающие воздействия природного и особенно техногенного характера, но и новыми эстетическими требованиями, предъявляемыми к современным инженерным сооружениям [1,2].

Сегодня концепцию бетонов с высокими эксплуатационными свойствами можно изложить следующим образом [1,2]:

а) доступная технология производства бетонных смесей и бетонов с широким диапазоном свойств, основанная на использовании сложившейся производственной базы и традиционных материалов;

б) высокие физико-технические характеристики бетонов - высокая прочность, низкая проницаемость для воды и газов, низкая усадка и ползучесть, повышенная коррозионная стойкость и долговечность, т.е. свойства, сочетание которых или преобладание одного из которых обеспечивает высокую надежность конструкций при любых условиях эксплуатации.

Такой подход вполне обоснован:

с одной стороны, бетон должен сохранить все преимущества, сделавшие его основным конструкционным материалом строительства, т.е. изготавливаться главным образом на основе местных ресурсов в непосредственной близости от стройплощадок, с небольшими трудозатратами как при приготовлении смесей, так и при бетонировании конструкций;

с другой стороны, он должен обладать достаточным потенциалом, чтобы воспринимать без «вторичной» защиты повышенные физико-механические нагрузки при эксплуатации конструкций в различных, в том числе в сильно агрессивных, средах.

Реализация концепции таких бетонов оказалась возможной прежде всего благодаря появлению на отечественном строительном рынке органоминеральных модификаторов серии «МБ», которые представляют собой порошкообразные материалы насыпной массой около 800 кг/м^3 . В своем составе они содержат все необходимые компоненты бетона с высокими эксплуатационными свойствами: микрокремнезем, золу-унос, суперпластификатор, регулятор твердения и другие добавки в разных соотношениях. Благодаря синергизму указанные ингредиенты в форме единых поликомпонентных продуктов (модификаторов) более эффективны, чем те же материалы, отдельно введенные в состав бетона [3,4].

Повышенная плотность модификаторов делает их более технологичными и транспортабельными добавками, что существенно снижает соответствующие затраты у производителей бетонов. Указанные достоинства модификаторов позволили за короткий срок организовать в

России массовое производство бетонов нового поколения – высокой прочности, низкой проницаемости, повышенной коррозионной стойкости и морозостойкости. Достаточно отметить, что за последние 6 лет в Российской Федерации возведено более 750 тыс.м^3 железобетонных конструкций, из которых: 50 тыс.м^3 – из высокопрочного бетона классов В50 - В60 и выше; 250 тыс.м^3 – из бетонов высокой плотности и коррозионной стойкости; 450 тыс.м^3 – из бетонов классов В30 - В45 с решением разных технологических задач: обеспечение низкой экзотермии, связности-нерасслаиваемости высокоподвижных бетонных смесей, обеспечение высокой ранней прочности бетона без тепловой обработки и др.

Одним из производителей бетонов с высокими эксплуатационными свойствами в Москве является фирма «Бетон», которая поставляет бетоны классов В35-В55 на объекты ЗАО «Моспромстрой». В данной публикации представлены результаты работы по внедрению технологии производства бетонных смесей с модификаторами бетона серии «МБ» на растворобетонных узлах фирмы «Бетон» и опыт применения высокопрочных модифицированных бетонов на объектах ЗАО «Моспромстрой».

Технология приготовления бетонных смесей с указанными модификаторами отработывалась с учетом сложившейся производственной базы – четырех бетоносмесительных установок и использования имеющихся стандартных материалов:

- портландцементов М400 ДО и М500 ДО Н ОАО «Михайловцемент» и ОАО «Мальцевский портландцемент»;

№	Состав бетонной смеси*, кг/м ³					Характеристики бетонной смеси			Прочность бетона, МПа, в возрасте, сут				
	Ц	МБ	П	Щ	В	γ, кг/м ³	ОК, см	В/(Ц+МБ)	1	3	7	28	56
1	360	40	640	1150	170	2360	22	0,43	16,0	27,0	37,0	45,6	45,8
2	360	40	650	1150	160	2360	20	0,40	19,6	33,8	44,6	54,5	56,8
3	460	65	750	1000	146	2421	20	0,28	20,0	44,2	60,9	76,8	82,3
4	500	50	520	1120	184	2374	20	0,34	25,0	43,2	58,0	63,8	70,8
5	500	50	520	1120	180	2370	21	0,33	27,8	44,5	61,5	70,8	86,9

* При производстве бетонных смесей использовались материалы:

- составы № 1 и № 4 – портландцемент М400 Д0, песок $M_{кр} = 2,3$, щебень из гравия фракции 5-20 мм, модификатор бетона МБ10-100С;
- составы № 2 и № 5 – портландцемент М400 Д0, песок $M_{кр} = 2,3$, щебень из гравия фракции 5-20 мм, модификатор бетона МБ10-50С;
- состав № 3 – портландцемент М500 Д0 Н, песок $M_{кр} = 2,9$, щебень гранитный фракции 5-20 мм, модификатор бетона МБ10-50С.

- песков – карьера «Петровский» и ОАО «Сычевский ГОК», с $M_{кр} = 2,3$ и $2,8$ соответственно;

- щебня из гравия фракции 5-20 мм карьера «Петровский»;

- щебня гранитного фракции 5-20 мм ОАО «Павловск-Воронежский»;

- модификатора бетона МБ10-50С или МБ10-100С, соответствующего ТУ 5743-083-46854090-98 с изменениями № 1.

На первом этапе с целью уточнения марки и расхода цемента, марки и дозировки модификатора, водовяжущего отношения и доли песка в смеси заполнителей в лабораторных условиях НИИЖБа и в центральной лаборатории фирмы «Бетон» проводился подбор трех составов бетонных смесей: БСГ В35 П4 F100 W8, БСГ В40 П4 F100 W12 и БСГ В55 П4 F300 W12. Составы и характеристики бетонных смесей и бетонов приведены в табл.1 и на рис.1.

Как следует из рис.1, все смеси характеризовались высокой начальной подвижностью (ОК = 20-22 см). Через 2 ч подвижность смесей № 1, 2, 3 и 5 снизилась на 9-10%, а состава № 4 – на 20%, при этом все смеси остались в той же стандартной марке по подвижности П4. Таким образом, для смесей с модификатором при серийном производстве исследуемых составов можно устанавливать сохранность в пределе 2 ч.

На основании полученных в лабораторных условиях результатов были установлены параметры составов бетонных смесей для выпуска опытных партий, которые представлены в табл.2.

На втором этапе в производственных условиях на растворобетонных установках (РБУ) фирмы

«Бетон» проведена оптимизация и осуществлен выпуск четырех опытных партий бетонных смесей: БСГ В35 П4 F100 W8 и БСГ В40 П4 F100 W12 с модификатором МБ10-100С и МБ10-50С, а также БСГ В55 П4 F300 W12 двух составов для тонкостенных и массивных конструкций с модификатором МБ10-50С.

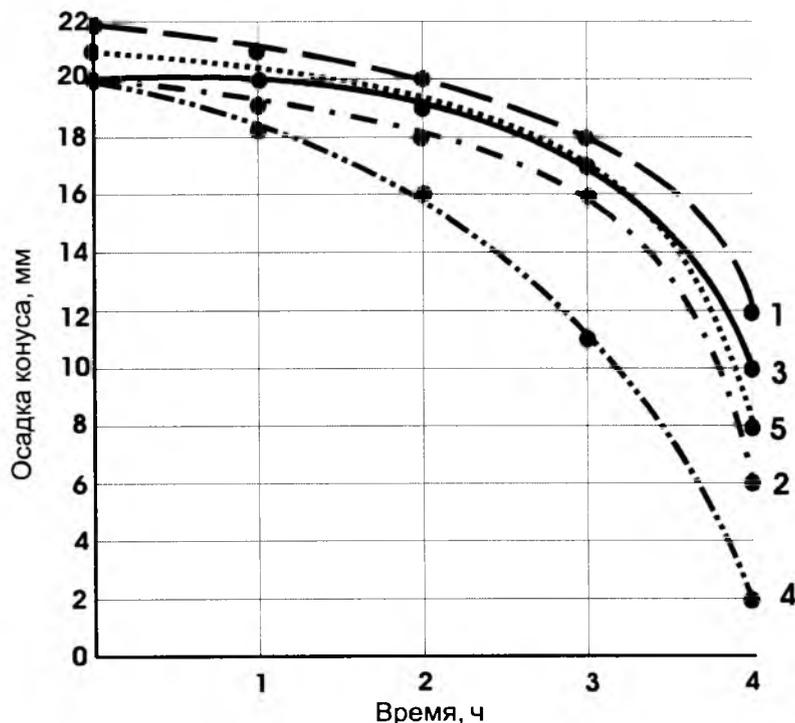


Рис. 1. Изменение пластичности бетонных смесей во времени (номера кривых соответствуют номерам составов из табл. 1)

№	Параметры	Класс бетона по прочности			
		В35	В40	В55	
				для тонкостенных конструкций	для массивных конструкций
1	Марка цемента	M400 Д0	M400 Д0	M500 Д0 Н	M500 Д0 Н
2	Расход цемента, кг/м ³	350–370	380–400	480–500	450–470
3	Марка модификатора	МБ10–100С	МБ10–100С	МБ10–50С	МБ10–50С
4	Дозировка модификатора, % от цемента	10	10	15	15
5	Водовяжущее отношение В/(Ц+МБ)	0,42–0,44	0,40–0,42	0,28–0,30	0,28–0,30
6	Доля песка в смеси заполнителей	0,36–0,38	0,40–0,42	0,42–0,44	0,42–0,44
7	Модуль крупности песка, М _{кр}	2,2–2,5	2,2–2,5	2,8	2,8
8	Вид крупного заполнителя	щебень из гравия фракции 5–20 мм		щебень гранитный фракции 5–20 мм	

Технология производства бетонных смесей с модификаторами не отличалась от стандартной – принятой на РБУ фирмы «Бетон». Технологическая линия по производству бетонных смесей состояла из традиционного оборудования (с выделением одной цементной банки (силоса) для хранения модификатора) и шнекового транспортера для его подачи в дозатор цемента. На всех этапах транспортирования, хранения и дозирования модификатора исключалось его пыление и попадание в него влаги. Бетонные смеси готовили на автоматизированном бетоносмесителе принудительного действия фирмы «Stetter».

В связи с тем, что время перемешивания, при котором стабилизируется пластичность бетонных смесей, зависит от дозировки модификатора, соотношения В/(Ц+МБ) и

типа бетоносмесителя, при выпуске опытных партий оптимизировалось время их перемешивания. Для достижения стабильной пластичности и полной гомогенизации смеси оптимальное время перемешивания составило для бетонов с 10% модификатора (В35 и В40) – 120 с, а для бетонов с 15% модификатора (В55) – 180 с.

Бетонная смесь из бетоносмесителя выгружалась в автобетоносмеситель, где она перемешивалась от 30 мин до 1 ч. Фактический состав бетонной смеси рассчитывали с учетом влажности песка и щебня, а также объемной плотности бетонной смеси.

Состав и характеристики опытных партий бетонных смесей, выпущенных в производственных условиях фирмы «Бетон», приведены в табл. 3.

В НИИЖБе были проведены испытания опытных партий бетонов на прочность при сжатии, водонепроницаемость и морозостойкость. Изготовление, хранение, подготовка к испытаниям, проведение испытаний, обработка и оценка результатов испытаний производились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180, ГОСТ 12730.5 и ГОСТ 10060.2 (3-й метод). Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Из полученных результатов (табл. 4) видно, что все бетоны, выпущенные в производственных условиях, стабильно имеют характеристики (прочность, водонепроницаемость, морозостойкость) выше требуемых, в связи с чем в 2002–2003 гг. экспертно-сертификационным центром НИИЖБа для фирмы «Бетон» ЗАО «Моспромстрой» были сертифицированы три вида бетон-

Таблица 3

№	Параметры бетонной смеси	Состав бетонной смеси*, кг/м ³					Характеристики бетонной смеси			
		Ц	МБ	П	Щ	В	γ, кг/м ³	ОК, см		В/(Ц+МБ)
								через 30 мин	через 1 ч	
1	В35 П4 F100 W8	360	40	660	1125	175	2360	20	19	0,44
2	В40 П4 F100 W12	400	40	680	1060	185	2365	20	18	0,42
3	В55 П4 F300 W12	500	75	755	960	170	2460	20	18	0,30
4	В55 П4 F300 W12	460	65	765	965	145	2400	20	19	0,28

* При приготовлении бетонных смесей использовали материалы:

- составы № 1 и № 2 – портландцемент М400 Д0, песок с М_{кр} = 2,3, щебень из гравия фракции 5–20 мм, модификатор МБ10–100С;
- составы № 3 и № 4 – портландцемент М500 Д0 Н, песок с М_{кр} = 2,8, щебень гранитный фракции 5–20 мм, модификатор МБ10–50С.

№ по табл.3	Прочность		Водонепроницаемость		Морозостойкость		
	прочность бетона при сжатии в 28 суток, МПа	класс бетона по прочности на сжатие	среднее значение сопротивления бетона проникновению воздуха, с/см ³	марка бетона по водонепроницаемости	потеря прочности бетона после замораживания-оттаивания, %	потеря массы бетона после замораживания-оттаивания, %	марка бетона по морозостойкости
1	48,2	B35	23,9	W12	-4,0	нет	F100
2	61,4	B45	95,3	W20	-0,8	нет	F100
3	84,3	B60	324,1	W20	-1,4	нет	F300
4	75,1	B55	216,8	W20	-3,2	нет	F300

ных смесей: БСГ В35 П4 F100 W8, БСГ В40 П4 F100 W12 и БСГ В55 П4 F300 W12.

Бетонные смеси для бетонов классов В35 и В40 (составы №1 и №2, табл.3) использовались при изготовлении несущих монолитных конструкций различными фирмами на объектах ЗАО «Моспромстрой»: жилом доме (Ярославское шоссе, вл.118-120), гостинице (ул.Лесная, вл.29), торговом комплексе (Рублевское шоссе, вл.52), Архивохранилище (ул.Профсоюзная, вл.84) и др.

Сопроводительный контроль, согласно ГОСТ 18105, проводился на всех объектах. По материалам контроля было установлено, что проектный класс бетонов В35 и В40 достигается стабильно на всех объектах, в связи с чем фирма «Бетон» перешла на выпуск высокопрочного бетона класса В55.

В 2003 г. ГИП ОАО «Стройпроект» был разработан проект жилого комплекса по адресу Мичуринский пр., вл.2, где предусматривалось изготовление монолитных колонн и капителей из бетона класса В55. В строительстве комплекса принимали участие фирмы ЗАО «Моспромстрой»: «Инпрестрой» (генпроектировщик), а также «Континент», «Орбита» и «Промстрой». Бетонная смесь для этих конструкций выпускалась фирмой «Бетон» с использованием модификатора МБ10-50С (состав №3, табл.3). Контроль прочности бетона производился по ГОСТ 18105 при выпуске бетонной смеси на РБУ фирмой «Бетон» и при изготовлении конструкций на объекте всеми перечисленными выше фирмами. Контроль проводился с целью установления соответствия прочности бето-

на в конструкциях требованиям проекта. Контролю подлежали все монолитные конструкции без исключения, изготовленные из бетона класса В55.

При сопроводительном контроле за партию принимались конструкции или их части, изготовленные в течение суток. Периодичность ведения контроля позволила использовать статистические методы и провести оценку прочности бетона с учетом его однородности. По данным работы завода (фирмы «Бетон»), выпускающего товарную бетонную смесь, каждый месяц рассчитывался коэффициент вариации – V_p , по которому определялась требуемая прочность – $R_{тр}$. Прочность $R_{тр}$ считалась выбраковочным уровнем при приемке партии конструкций, характеризующихся кубиковой прочностью в возрасте 28 сут – R_m , было условие $R_m > R_{тр}$.

При сдаче конструкций за партию принимались конструкции, изготовленные за 1 неделю (с понедельника по воскресенье). Всего на данном объекте проконтролировано 64 партии при выпуске бетонной смеси (общим объемом около 2000 м³) и 189 партий при изготовлении монолитных конструкций. Результаты сопроводительного контроля прочности бетона класса В55 на жилом комплексе Мичуринский проспект, владение 2 представлены в табл.5.

Как следует из табл.5, все конструкции были изготовлены из бетона класса В55, характеризующегося прочностью выше требуемого уровня обеспеченности при коэффициентах вариации контролируемого

периода $R_m > R_{тр}$. Представленные данные особенно ценны тем, что они получены при сопроводительном контроле прочности бетона непосредственно на производстве и содержат множество случайностей (изготовление, уплотнение, хранение, испытание и т.д.), отражающихся на показателях прочности.

К успешным примерам использования высокопрочных модифицированных бетонов при строительстве массивных монолитных конструкций можно отнести опыт применения бетона В55 F300 W12 при возведении главной опорной платформы ферм на объекте ЗАО «Моспромстрой» - крытый конькобежный центр на Крылатской улице.

Конструкция главной опорной платформы ферм представляла собой монолитный железобетонный диск диаметром 34,0 м и толщиной 2,2 м с расположенными полукругом со стороны арены ступенчатыми опорными узлами под фермы и примыкающей к ним со стороны центра платформы приопорной стеной толщиной 1,5 м и высотой 3,1 м.

Платформа ферм в центральной ее части опиралась на монолитную железобетонную конструкцию цилиндрической формы с наружным диаметром 12,4 м и с толщиной стенки 600 мм, которая, таким образом, образовала консоли длиной 10,8 м. Платформа ферм имела две дополнительные монолитные опоры диаметром 2,5 м каждая.

Возведение конструкции главной опорной платформы ферм крытого конькобежного центра осуществлялось фирмой «Инпрестрой» ЗАО «Моспромстрой» в соответ-

№ п/п	Наименование фирмы	Период контроля в 2003 г.	Количество партий, п, шт	Коэффициент вариации прочности бетона V_n^* , %	Требуемая прочность бетона $R_{тр}$, МПа	Диапазон прочности бетона за контролируемый период, МПа	Средняя прочность бетона за контролируемый период -R - МПа
1	«Бетон»	июнь	13	7,0	59,4	70,4-78,8	74,0
		июль	15	8,1	60,0	70,4-96,7	77,4
		август	20	9,0	61,1	69,5-78,3	72,1
		сентябрь	16	9,5	61,9	67,4-78,4	72,1
2	«Континент»	июнь	5	7,0	59,4	70,9-87,3	78,9
		июль	15	8,1	60,0	61,0-75,4	67,3
		август	25	9,0	61,1	61,3-73,1	66,1
		сентябрь	20	9,5	61,9	61,4-68,0	63,9
3	«Инпредстрой»	июнь	5	7,0	59,4	67,1-97,4	75,0
		июль	18	8,1	60,0	61,5-83,6	68,6
		август	20	9,0	61,1	61,6-77,0	65,9
		сентябрь	9	9,5	61,9	61,6-70,0	65,4
4	«Промстрой»	июнь	6	7,0	59,4	68,2-81,4	73,5
		июль	14	8,1	60,0	71,9-92,2	78,7
		август	15	9,0	61,1	73,7-89,9	80,0
		сентябрь	-	-	-	-	-
5	«Орбита»	июнь	6	7,0	59,4	72,1-75,0	73,4
		июль	12	8,1	60,0	65,8-74,0	71,1
		август	19	9,0	61,1	68,1-74,4	71,1
		сентябрь	6	9,5	61,9	67,6-71,9	69,2

Примечания: 1. * - по данным фирмы «Бетон».

2. Средняя прочность бетона – R – средняя по «п».

ствии с Технологическим регламентом, разработанным НИИЖБом.

Главными условиями, определяющими выбор способов возведения конструкции, являлись:

1. Бетонирование опорной платформы и ее элементов непрерывно за единый технологический цикл, без образования рабочих швов, учитывая воздействие значительных усилий, возникающих в конструкции на стадии возведения и эксплуатации.

2. Обеспечение термической трещиностойкости конструкции, т.е. предотвращение термических трещин, связанных с тепловыделением высокопрочного бетона, объем которого составил около 2500 м³.

3. Обеспечение высокой удобоукладываемости бетонной смеси, подаваемой в густонасыщенную арматурой опалубку, имеющую сложную конфигурацию.

Учитывая значительный объем

монолитного бетона, укладываемого непрерывно в массивную конструкцию платформы (модуль поверхности равен ~ 0,84), а также густое армирование конструкции, к бетонной смеси предъявлялись дополнительные требования, которые заключались в обеспечении минимальной экзотермии твердеющего бетона и в максимальной удобоукладываемости бетонной смеси. Поэтому бетонная смесь по составу имела пониженный расход цемента, обладала повышенными показателями по подвижности, связности (нерасслаиваемости) и сохраняемости (состав № 4, табл.3).

Поступающая на строительную площадку бетонная смесь, как правило, имела следующие характеристики:

- марка по удобоукладываемости П5 (ОК от 21 до 24 см);
- сохраняла требуемую подвижность (удобоукладываемость) в

течение 1,5-2,0 ч с момента ее приготовления на бетонном заводе, а через 4-5 ч имела подвижность (ОК) не менее 2 см для надежности послойного вибрирования;

- обладала повышенной связностью – нерасслаиваемостью, характеризующейся водоотделением, определенным по ГОСТ 10181-00 «Смеси бетонные. Методы испытаний», равным $\leq 0,2\%$;

- имела температуру от 24 до 28°C.

Для непрерывного бетонирования конструкции платформы и ее элементов поставка бетонной смеси осуществлялась одновременно с четырех бетоносмесительных узлов фирмы «Бетон» ЗАО «Моспротстрой». Для равномерного распределения нагрузки от укладываемой в конструкцию бетонной смеси бетонирование главной опорной платформы ферм производилось одновременно двумя бетононасосами,

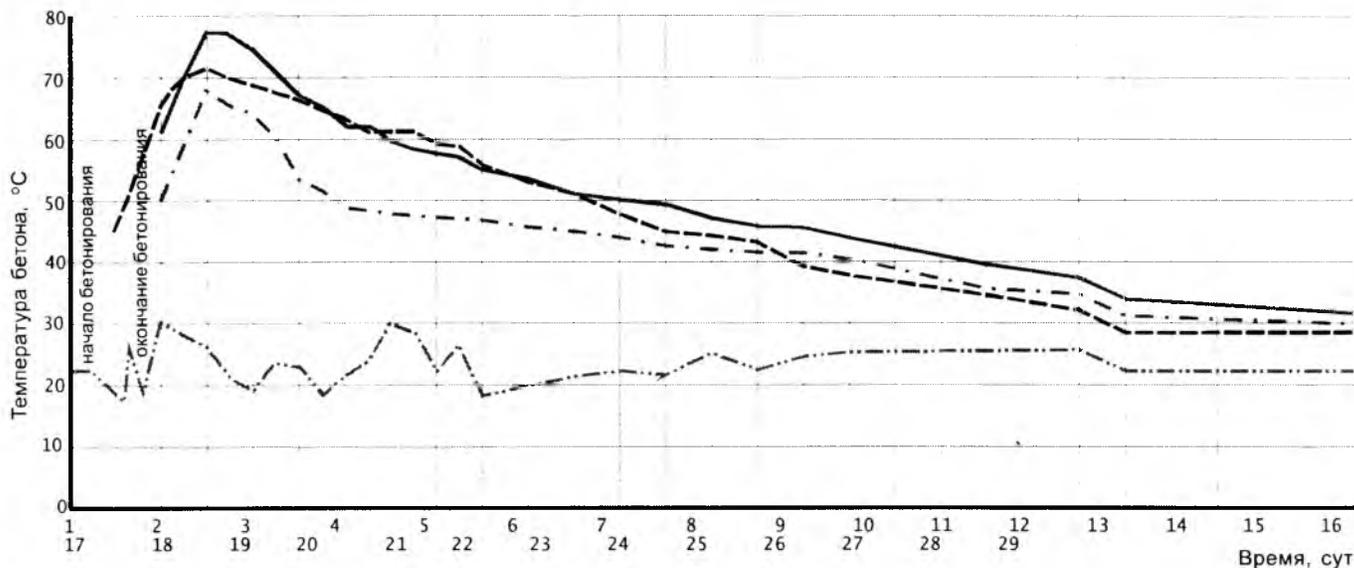


Рис. 2. Характерная кинетика температуры бетона в процессе его выдерживания в верхней, средней и нижней зонах по высоте сечения конструкции главной опорной платформы ферм

..... — температура в верхней зоне конструкции; - - - — температура в нижней зоне конструкции; - · - · - — температура в средней зоне конструкции; - · - · - — температура воздуха

расположенными в противоположных секторах конструкции. При этом бетонная смесь укладывалась в опалубку горизонтальными слоями толщиной 20 см с направлением укладки от центра платформы к ее краям.

Бетонирование ступенчатых опорных узлов под фермы и примыкающей к ним приопорной стены выполнялось с применением вспомогательных приспособлений в виде отсечных сеток, предотвращающих выпучивание из под вертикальных щитов опалубки бетонной смеси в процессе ее укладки и уплотнения. Учитывая значительную протяженность, составляющую около 40 м, в конструкции приопорной стены через 7 м были организованы технологические отсечки, предназначенные для локализации в них трещин от температурных напряжений, возникающих при остывании бетона после экзотермического прогрева. Укладка бетонной смеси производилась слоями толщиной 300–450 мм (на высоту 2–3 ступеней) с выполнением требований СНиП 3.03.01-87 по укладке бетонной смеси в железобетонные конструкции.

При возведении главной опорной платформы темп укладки бетонной смеси в конструкцию в среднем

составил около 60 м³/ч, а весь процесс укладки бетонной смеси занял около 40 ч. После завершения работ по уплотнению и отделке все открытые поверхности свежееуженного бетона, во избежание появления трещин от усадочных и термических напряжений, а также для защиты от попадания атмосферных осадков, укрывались влаготеплозащитным покрытием (полиэтиленовая пленка + 2 слоя дорнита + полиэтиленовая пленка).

В процессе выдерживания и остывания бетона в конструкции в течение 14 сут после бетонирования два раза в смену, а в последующем один раз в сутки производили замеры температуры наружного воздуха и температуры бетона. Температуру бетона измеряли в нескольких участках опорной платформы в трех уровнях – в нижней, средней и верхней зонах по высоте сечения конструкции. Контрольные замеры температуры показали, что пик экзотермического нагрева бетона наступил на 1–2 сут после окончания бетонирования, а максимальные значения температуры в бетоне (76°C) были получены в центральной зоне (середине сечения) главной опорной платформы ферм. Характерная кинетика температуры бетона в процессе его выдерживания в верхней,

средней и нижней зонах по высоте сечения конструкции представлена на рис.2 (по данным лабораторного сопроводительного контроля фирмы «Инпредстрой»).

Снятие влаготеплозащитных покрытий с поверхности бетона и ранее распалубленных боковых граней конструкции было произведено при условиях, когда разность температур бетона в ядре (середине сечения) и на поверхностях (верхней и нижней) в процессе остывания бетона составила менее 30°C; разность наиболее высокой температуры наружных слоев бетона и наименее низкой суточной температуры наружного воздуха составила менее 20°C.

Прочность бетона контролировали испытанием образцов-кубов размером 100x100x100 мм, изготовленных из бетонной смеси, отобранной к концу каждого 4-го часа бетонирования, и хранившихся в условиях твердения бетона в конструкции. Всего были проконтролированы 11 партий бетонных смесей.

Испытание образцов-кубов осуществлялось по ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» как при изготовлении бетонной смеси, так при изготовлении конструкций. Прочность бетона по образцам со-

проводительного контроля в построчных условиях была: в возрасте 14 сут в диапазоне 66,3-101,8 МПа и в возрасте 28 сут в диапазоне 78,6-106,7 МПа, что соответствовало требуемой прочности проектного класса В55 со значительным запасом.

Таким образом, сопроводительный контроль на всех этапах строительства показал, что в ЗАО «Моспромстрой» освоена технология возведения монолитных железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов классов В55, которые полностью отвечают концепции бетонов с высокими эксплуатационными свойствами.

Полученные высокие эксплуатационные характеристики железобетонных конструкций на объектах ЗАО «Моспромстрой» свидетельствуют о надежности и значительном потенциале технологии производства бетонов, основанной на применении комплексных модификаторов серии МБ.

Библиографический список

1 Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Бетоны нового поколения с высокими эксплуатационными свойствами//Материалы Международной конференции «Долговечность и защита конструкций от

коррозии», Москва, 25-27 мая 1999, с.191-196.

2 Каприелов С.С., Батраков В.Г., Шейнфельд А.В. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспективы//Бетон и железобетон. – № 6. – 1999. – с.6-10.

3 Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01//Бетон и железобетон. – № 5. – 1997. – с.38-41.

4 Каприелов С.С., Шейнфельд А.В. Бетоны нового поколения в современном транспортном строительстве// Дорожная техника. Материалы и конструкции для транспортного строительства. – октябрь. – 2003. – с.49-54.

В.Р.ФАЛИКМАН, чл.-корр. РИА, Ю.В.СОРОКИН, канд.техн.наук (НИИЖБ);
О.М.ГОРЯЧЕВ, канд.техн.наук (НПП «ТЕМА»)

Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства

Снижение материалоемкости и уменьшение массы строительных конструкций без потери их несущей способности и других эксплуатационных свойств является одним из важнейших факторов повышения эффективности строительства [1,3,4,5]. Среди практических путей достижения этой цели основным можно считать применение легких бетонов с повышенными показателями конструктивного качества, т.е. с большим, по сравнению с традиционными легкими бетонами, относительным показателем прочности на единицу средней плотности.

Задачей экспериментальных исследований, результаты которых приведены ниже, явилась разработка составов и технологии монолитного керамзитобетона с плотностью в сухом состоянии 1,4 кг/дм³ и прочностью в возрасте 28 сут 40 Н/мм² (класс В25). Исходя из потребности строительного производства, подвижность бетонной смеси назначалась равной 21-25 см осадки кону-

са Абрамса при обеспечении возможности длительного (до 2 ч) транспортирования и выдерживания смесей до момента укладки.

Эксперименты проводились с применением портландцемента Старооскольского цементного завода марки М500 Д0 (Сем I 42,5), в качестве заполнителей использовались кварцевый песок средней крупности ($M_{кр}=2,5$) и керамзит фракции 0-10 мм с прочностью М150 и насыпной плотностью 0,7 кг/дм³ производства ОПС «Шилово». Для улучшения технологических свойств бетонных смесей и повышения прочности бетона вводилась добавка микрокремнезема (МК) в количестве 10% массы цемента, а также добавка суперпластификатора С-3 на нафталиновой основе в дозировке 1% массы цемента (в пересчете на сухое вещество).

В ходе экспериментов изготавливались и испытывались образцы керамзитобетонов с расходом цемента от 350 до 600 кг/м³. Установ-

лено, что при варьировании расхода керамзита в пределах от 0,6 м³ до 0,9 м³ на 1 м³ бетона это обеспечивает получение бетонов с широким диапазоном плотности и прочности.

Как следует из данных, приведенных на рис.1, при постоянном расходе цемента 350 кг/м³ можно получить бетоны с плотностью в сухом состоянии от 1,15 до 1,4 кг/дм³ в зависимости от расхода керамзита (кривые 1 и 2), при расходе цемента 500 кг/м³ – от 1,2 до 1,55 кг/дм³ (кривые 3 и 4).

В возрасте 28 сут естественного твердения прочность бетонов с расходом цемента 350 кг/м³ в зависимости от плотности изменяется в пределах от 20 до 33 Н/мм², при расходе цемента 500 кг/м³ – от 30 до 47 Н/мм². Отмечаются высокие темпы твердения бетонов: в возрасте 3 сут прочность бетонов с минимальным расходом цемента составляет от 12,5 до 27,5 Н/мм², при максимальном расходе – от 30 до 47

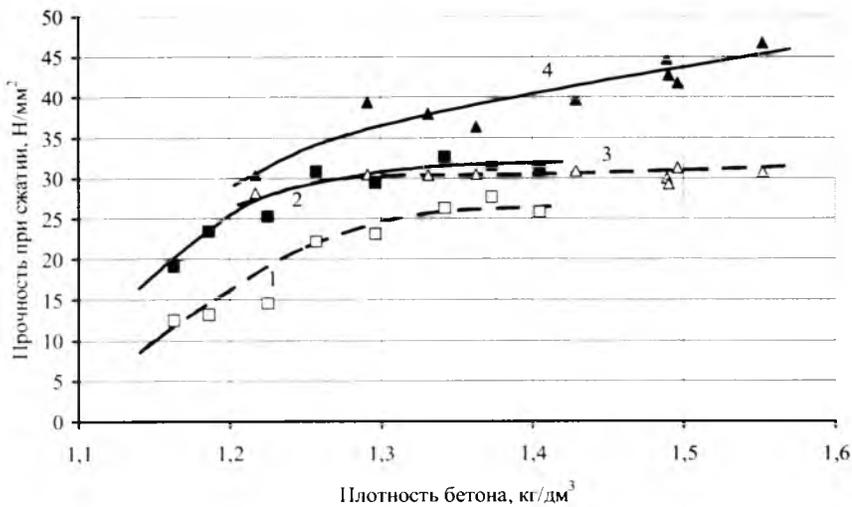


Рис.1. Зависимость прочности керамзитобетона от плотности в сухом состоянии при расходе цемента

1, 2 – 350 кг/м³; 3, 4 – 500 кг/м³ (пунктир – 3 сут, сплошная линия – 28 сут)

Н/мм². Обращает на себя внимание также нелинейный характер полученных зависимостей, обусловленный, по-видимому, особенностями физико-механических свойств бетона, сочетающего высокопрочную растворную составляющую и пористый заполнитель сравнительно низкой прочности. Для бетонов с расходом цемента 350 кг/м³ сопровождающий рост плотности интенсивный набор прочности сменяется выравниванием ее показателей, что обусловлено отрицательным влиянием пористого заполнителя на прочность при повышенных разрушающих нагрузках. В бетонах с расходом цемента 500 кг/м³ вследствие высокой прочности растворной составляющей указанное отрицательное влияние пористого заполнителя в значительной степени нивелируется, в результате чего значения ранней прочности стабилизируются на уровне 30 Н/мм², а в возрасте 28 сут обеспечивается стабильный рост прочности с увеличением плотности бетона, хотя и в меньшей степени, чем это характерно для обычных тяжелых бетонов на плотных заполнителях [1].

Согласно современным представлениям [4], легкие бетоны могут быть отнесены к высокопрочным

в том случае, если выполняются условия уравнения

$$f_{\text{лск}} / \rho_{\text{тр}} \geq 25, \quad (1)$$

где $f_{\text{лск}}$ – прочность при сжатии в Н/мм²,

$\rho_{\text{тр}}$ – плотность бетона в сухом состоянии в кг/дм³.

Указанным условиям удовлетворяют практически все составы с расходом цемента 500 кг/м³, причем испытания бетонов с повышенным расходом цемента (550-600 кг/м³) и при использовании керамзита большей прочности выявили возможность получения бетонов с прочностью 50 Н/мм² и более.

Влияние на керамзитобетон качества пористого заполнителя отражают приведенные в таблице результаты определения физико-механических и деформативных свойств бетонов на двух видах заполнителя – использованном в описанных выше экспериментах керамзите фракции 0-10 мм с насыпной плотностью 0,7 кг/дм³ и керамзите Алексинского завода фракции 0-20 мм с насыпной плотностью 0,57 кг/дм³ и меньшей в 1,5 раза прочностью.

Данные таблицы показывают, что следствием более низкой плотности и прочности керамзита фракции 0-20 мм явилось некоторое снижение прочности и других показате-

Показатели, единица измерения	Значение показателя при использовании керамзита фракции, мм	
	0-20	0-10
Расход материалов на 1 м³ бетона:		
цемент Сем I 42,5, кг	514	515
микрокремнезем, кг	51	52
песок, кг	205	145
керамзит, кг/л	514/902	612/887
вода, л	201	268
суперпластификатор, кг	5,1	5
Водоцементное отношение (В/Ц)	0,39	0,52
Осадка конуса Абрамса, см	22,5	26
Плотность бетонной смеси, кг/дм³	1,49	1,597
Расчетная плотность бетона в сухом состоянии, кг/дм³	1,365	1,406
Прочность при сжатии кубиковая, Н/мм²	37,0	43,8
Призменная прочность, Н/мм²	29,5	35,9
Начальный модуль упругости, Н/мм²	12,2x10³	15,7x10³
Прочность при осевом растяжении, Н/мм²	2,0	2,5
Прочность на растяжение при изгибе, Н/мм²	3,8	4,1
Относительные деформации усадки, мм/мм, в воздушно-сухих условиях в возрасте 28 сут	54,4 x 10 ⁻⁵	57,3 x 10 ⁻⁵
Морозостойкость (число циклов попеременного замораживания при -20°C и оттаивания, соответствующее потере 5% первоначальной прочности), не менее	200	250

телей качества керамзитобетона на его основе. Для бетона на керамзите фракции 0-10 мм, несмотря на повышенную водопотребность бетонной смеси, обеспечивается достижение кубиковой прочности более 40 Н/мм^2 и начального модуля упругости на уровне $15,7 \times 10^3 \text{ Н/мм}^2$, при этом плотность бетона в сухом состоянии соответствует заданному значению $1,4 \text{ кг/дм}^3$. Морозостойкость бетонов составляет не менее 200-250 циклов, что соответствует требованиям для конструкций, эксплуатирующихся в нормальных условиях. Усадочные деформации керамзитобетонов в возрасте 28 сут изменяются от $54,4 \times 10^{-5}$ до $57,3 \times 10^{-5} \text{ мм/мм}$, что не превышает уровня усадки керамзитобетонов, приготовленных при водоцементном отношении (В/Ц), равном 0,4-0,5: от 66×10^{-5} до $115 \times 10^{-5} \text{ мм/мм}$ в зависимости от усадки и упругих свойств растворной составляющей и упругих свойств керамзита [2].

В процессе отработки технологии приготовления и транспортирования керамзитобетонных смесей варьировались способ введения микрокремнезема (в сухом виде и в виде пульпы), влажность применяемого керамзита (в состоянии естественной влажности и в состоянии водонасыщения), исследовалось влияние этих факторов на плотность и прочность керамзитобетона, а также на сохраняемость бетонных смесей при длительном транспортировании.

Представленные на рис. 2 данные показывают, что для бетонной смеси на сухом керамзите с введением МК в виде пульпы характерна интенсивная потеря подвижности в течение первых 0,5-1 ч после приготовления (кривая 1), обусловленная уменьшением объема жидкой фазы вследствие поглощения керамзитом части воды затворения. При введении микрокремнезема в сухом виде (кривая 2) наблюдается уменьшение интенсивности потери подвижности – в течение первых 0,5 ч осадка конуса стабилизируется, а при последующем выдерживании уменьшается, однако даже через 1

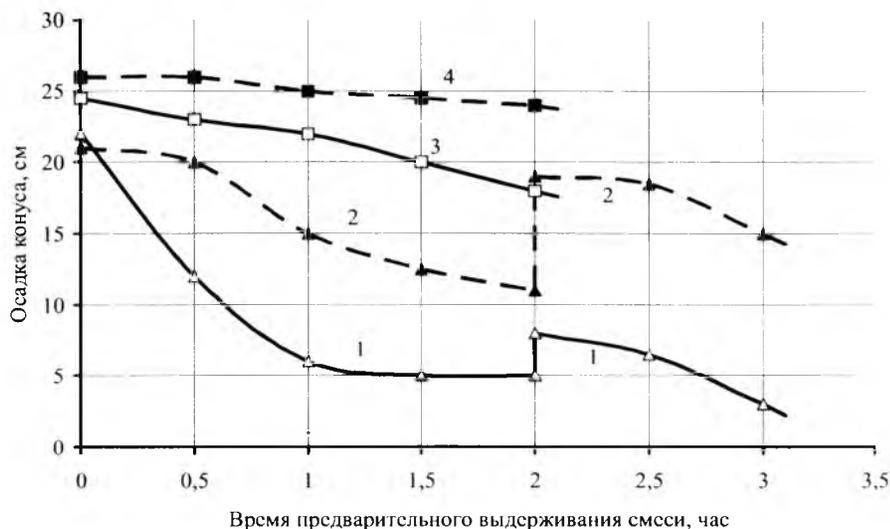


Рис. 2. Изменение подвижности керамзитобетонных смесей в зависимости от времени выдерживания, влажности керамзита и способа введения МК

1, 2 – смеси на керамзите естественной влажности (0,7 % масс.); 3, 4 – смеси на водонасыщенном керамзите (сплошные линии – введение МК в виде пульпы с водой затворения, пунктирные линии – введение МК в сухом виде)

ч ее значение составляет 15 см. При использовании увлажненного керамзита (кривые 3 и 4) темпы потери подвижности существенно уменьшаются: в случае введения МК в виде пульпы осадка конуса в пределах 21-25 см сохраняется в течение 1-1,5 ч, а при введении МК в сухом виде она составляет не менее 24 см даже после 2 ч выдерживания.

Так как предварительное увлажнение керамзита существенно усложняет производство, была исследована возможность восстановления подвижности за счет введения дополнительного количества воды затворения непосредственно перед укладкой. Введение воды в бетонные смеси на сухом керамзите (вертикальные участки кривых 1 и 2) осуществлялось через 2 ч выдерживания в количестве 30 л/м^3 и сопровождалось незначительным повышением подвижности смеси 1 (введение МК в виде пульпы) и ее практически полным восстановлением до исходного значения для смеси 2 (введение МК в сухом виде).

При последующем выдерживании достигнутая подвижность сохраняется не менее 0,5 ч, обеспечивая тем самым суммарную жизнеспособность бетонной смеси на уровне 2,5 ч.

Влияние времени предварительного выдерживания бетонных смесей до момента формирования, а также способа введения МК и влажности керамзита на прочность бетона в возрасте 28 сут отражают данные, представленные на рис. 3.

Полученные результаты показывают (см. рис. 3), что потеря подвижности бетонных смесей сопровождается повышением их плотности и увеличением прочности бетона, что обусловлено уменьшением свободной воды затворения вследствие поглощения части ее заполнителем и соответственно уменьшением истинного значения В/Ц. Это особенно характерно для составов с введением МК в виде пульпы (кривые 1 и 3). При введении МК в виде пульпы как темпы потери подвижности, так и связанная с этим степень повышения прочности несколько уменьшаются. Можно

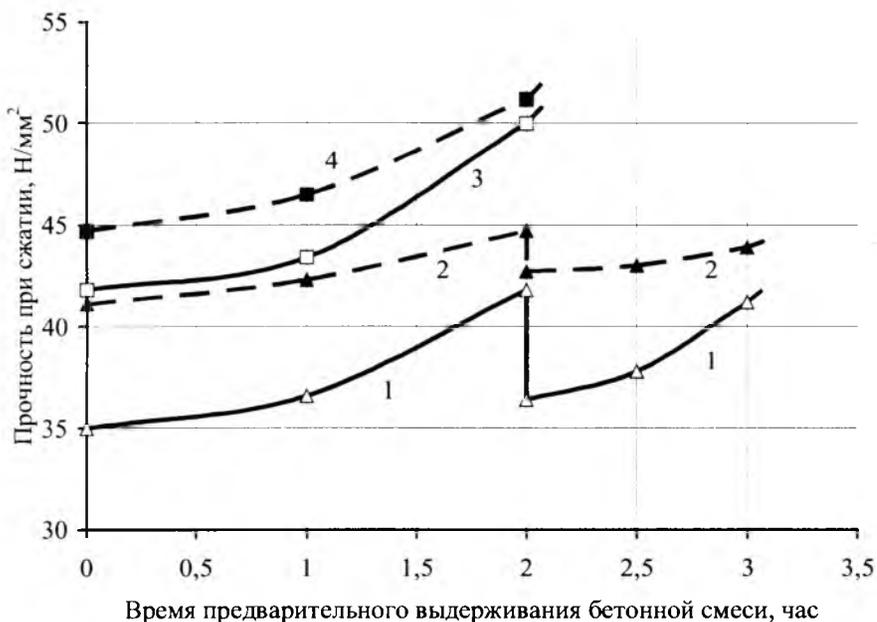


Рис.3. Влияние времени предварительного выдерживания бетонной смеси перед укладкой на 28-суточную прочность керамзитобетона

1, 2 – бетоны на керамзите естественной влажности (0,7 % масс.); 3, 4 – бетоны на водонасыщенном керамзите (сплошные линии – введение МК в виде пульпы с водой затворения, пунктирные линии – введение МК в сухом виде)

предположить, что ультрадисперсные частицы введенного в сухом виде МК при перемешивании оседают на поверхности и коагулируют открытые поры зерен заполнителя, следствием чего является замедление темпов и величины водопоглощения керамзита, а также степень связанного с этим изменения истинного В/Ц.

Введение дополнительного количества воды для восстановления подвижности бетонных смесей сопровождается снижением прочности (вертикальные участки кривых 1 и 2 на рис.3), которая в ходе последующего выдерживания в течение 0,5-1 ч достигает первоначального значения.

Установлено также, что при использовании сухого керамзита для обеспечения сохранности бетонных смесей может быть использован метод введения избыточного количества воды затворения с превышением исходной подвижности по отношению к заданной. В этом

случае поглощаемая пористым заполнителем избыточная часть воды затворения не сказывается на величине истинного В/Ц и не снижает прочность бетона.

Разработанные составы высокопрочного керамзитобетона использовались при бетонировании внутренних стен и ограждающих конструкций 25-этажных жилых домов в Москве (ноябрь 2003 г. – июнь 2004 г.). Введение микрокремнезема на бетонном заводе производилось в сухом виде непосредственно в бетоносмеситель. Транспортирование бетонных смесей на стройплощадку осуществлялось автобетоносмесителями. Продолжительность их транспортирования и выдерживания до момента бетонирования составляла 1,5-3 ч. В ряде случаев для восстановления подвижности в смеси вводилось дополнительное количество воды. Контроль качества при проведении бетонных работ выявил высокие технологические свойства бетонных смесей: способность к

самовыравниванию, стойкость против растворо- и водоотделения. Укладка и уплотнение производились при небольшой побудительной вибрации. Испытания контрольных образцов подтвердили приведенные выше результаты лабораторных экспериментов и показали, что разработанные составы характеризуются высокими темпами естественного твердения – прочность бетона в конструкциях в возрасте 5-7 сут даже при среднесуточной температуре воздуха 7-10°C составляла около 30 МПа.

Таким образом, проведенные исследования выявили возможность получения высокопрочного керамзитобетона с прочностью на уровне 40 Н/мм² и плотностью в сухом состоянии 1,4 кг/дм³. Разработаны методы обеспечения сохранности бетонных смесей, в том числе при восстановлении подвижности за счет введения дополнительного количества воды затворения, а также при использовании составов с избыточным расходом воды и завышенным показателем исходной подвижности. Показана эффективность применения добавки микрокремнезема в сухом виде при его введении непосредственно в бетоносмеситель.

Авторы выражают глубокую признательность инж. О.О. Калашникову, В.Ю. Сорокину, Г.Л. Кузнецову за помощь в постановке и проведении экспериментальных работ и обсуждении результатов.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002, 500 с.
2. Довжик В.Г., Дорф В.А., Петров В.П. Технология высокопрочного керамзитобетона. – М.: Стройиздат, 1976, 136 с.
3. Faust, T. Leichtbeton in Konstruktive Ingenieurbau. Bauingenieur-Praxis. Ernst & Sohn Verlag, 2003.
4. Held., M. Hochfester Konstruktions-Leichtbeton, Beton, Juli 1996, S. 411-415.
5. Mueller, H.S., Heist, M., Mechtcherine, V., Selbstverdichtender Hochleistungs-Leichtbeton, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 6, Juni 2002, S. 326-333.

А.Ф.ШАШИН, инж.

Замкнутые монтажные петли с угловым сварным соединением

Для заводов сборного железобетона вопрос экономии материальных и трудовых затрат при выпуске железобетонных изделий без снижения их потребительских свойств и качества является одним из главных факторов выживания в условиях рыночного хозяйствования. Вопросы применения высокопроизводительных энерго- и материалосберегающих технологий в области строительства и стройиндустрии успешно решались на государственном уровне в бывшем СССР. На сегодняшний день заводы ЖБИ такие проблемы решают в одиночку без поддержки научных организаций, призванных осуществлять техническую политику в этой области.

Во второй половине 80-х годов прошлого столетия было успешно начато внедрение замкнутых монтажных (подъёмных) петель треугольного типа для изделий из тяжёлого и лёгкого бетонов по разработкам различных проектно-технологических организаций. Экономическая эффективность их использования заключалась в существенной (до 45%) экономии металла и трудозатрат. Из трех типов замкнутых монтажных петель (ЗМП) петли с угловым сварным соединением (см. рисунок), по сортаменту серии 3.400-7 Ленинградского ПИ-1 и КТБ «Стройиндустрия» (г. Видное), оказались более привлекательными для заводов в силу технологичности и простоты их изготовления. Большой экономии металла и трудозатрат от массового применения этих петель можно было добиться при наличии простого, надёжного и высокопроизводительного станка. Такой станок с пневмоприводом был в те годы создан как приставка к одноточечной сварочной машине. Операция гнба петли на нём осуществляется рычагами специальной формы за один ход пневмоцилин-

дров. Станок по отношению к сварочной машине жёстко установлен таким образом, что угловое соединение после гнба, попадая в зону электродов, автоматически сваривается.

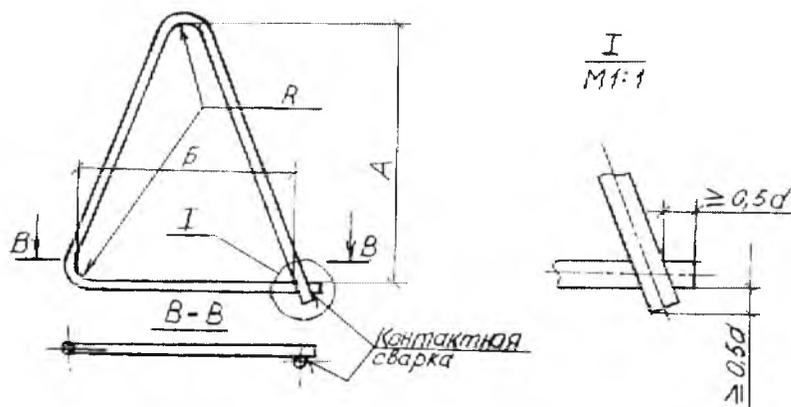
Проведенные исследования углового сварного стыка показали, что равнопрочность таких соединений сохраняется даже при двукратных отклонениях времени прохождения сварочного тока и усилия сжатия электродов в обе стороны от номинала. В практике работы заводов, внедривших ЗМП с угловым соединением, вырыва петель из бетона из-за ослабленного сварочного стыка не наблюдалось.

Для реализации высокой производительности станок был снабжён автоматическим питателем по подаче заготовок в зону гнба производительностью 15-20 петель в минуту. В условиях массовой потребности в петлях это было оправданно. Такие станки были внедрены на некоторых заводах страны (Загорский комбинат ЖБИ, Мытищинский завод ЖБИ и др.). В нынешних условиях при малой потребности в петлях для многих заводов такой станок экономически нецелесообразен, так как исключается из работы одноточечная сварочная машина, которая

могла бы быть использована для сварки различной арматуры. При незначительной нагрузке пары: станок для гнбки + сварочная машина отпадает необходимость в громоздком и сложном автоматическом питателе, обеспечивающем высокую производительность.

Для новых условий более всего подходит отдельно стоящий от сварочной машины гибочный станок упрощённой конструкции. На нём производится гнбка петель с последующей их передачей на сварку одноточечной сварочной машиной. Однако при необходимости иметь высокую производительность этот гибочный станок можно смонтировать в паре со сварочной машиной с единой электрической цепью управления гнбом и сваркой.

Упрощённая конструкция гибочного станка создана для выпуска петель с ручной подачей заготовок в зону гнба. Производительность его находится на уровне 10 петель в минуту. Простая технологичная конструкция станка позволяет изготовить его в условиях завода ЖБИ, имеющего у себя обычный ремонтно-механический цех. Трудоемкость изготовления станка составляет в среднем 20-30 человекодней.



Замкнутые монтажные петли с угловым сварным соединением

Марка петли	Диаметр стержня петли, мм	Нормативное усилие на одну петлю, кН/кгс	Геометрические размеры петли, мм			Длина заготовки, мм	Масса, кг
			А	Б	Р		
M6-100-У	6АI	1/100	180	130	30	550	0.12
M8-100-У	8АI	3/300	180	130	30	550	0.22
M10-150-У	10АI	7/700	230	165	30	700	0.43
M12-150-У	12АI	11/1100	230	165	30	710	0.63
M14-150-У	14АI	15/1500	230	165	30	730	0.9
M16-200-У	16АI	20/2000	280	200	30	880	1.39
M18-250-У	18АI	25/2500	330	240	30	1030	2.06
M20-250-У	20АI	31/3100	350	250	40	1090	2.69
M6-130-У	6АI	1/100	185	130	30	560	0.12
M8-130-У	8АI	3/300	185	130	30	560	0.22
M10-130-У	10АI	7/700	185	165	30	610	0.38
M12-130-У	12АI	11/1100	185	165	30	620	0.55
M14-130-У	14АI	15/1500	185	165	30	630	0.76
M16-130-У	16АI	20/2000	185	200	30	700	1.10
M18-130-У	18АI	25/2500	180	240	30	750	1.50
M20-130-У	20АI	31/3100	180	250	40	780	1.92

Примечания: В обозначениях марки петель М – монтажная петля; цифра за буквенным индексом – диаметр стержня петли; цифра после дефиса – минимальная глубина заделки петли в бетон; У – угловая сварка; назначение петель: М6-100-У...М20-250-У – для изделий сплошного поперечного сечения из тяжелого бетона и железобетона; М6-130-У...М20-130-У – для пустотного настила

Реальная экономия металла достигается за счет уменьшения длины заготовки петли почти в 2 раза по сравнению с типовой петлей. В некоторых случаях, например, при использовании бетона марки В25 и выше или при пропуске

через петли рабочих арматурных стержней можно уменьшать размер Б петли (см. рисунок), по сравнению с табличным, не снижая несущей способности петли (проверить испытаниями). При этом достигается уменьшение длины заготовки

более чем вдвое. Уменьшение размера Б обеспечивается регулировкой простых винтовых устройств станка. Так, например, на Загорском комбинате ЖБИ (г. Сергиев Посад) петли с уменьшенным размером Б устанавливаются в боковую поверхность плит размером 3x1,75x0,17 м, а также в сваи сечением 30x30 см длиной от 6 до 12 м. При проведении испытаний петли в дорожных плитах выдержали четырехкратную нагрузку, а в сваях СУ 8-30 – 5-кратную.

В таблице приводятся охваченная технологическими возможностями станка часть сортамента ЗМП серии 3.400 – 7, выпуск 2 для изделий из тяжелого бетона и плит пустотного настила.

Техническая характеристика станка

Диаметр заготовок, мм ----- 6-20
 Длина заготовок, мм ----- 550-1090
 Производительность, шт/ч ----- 200-400
 Давление сжатого воздуха, МПа ----- 0.5-0.7
 Питающее напряжение, В ----- 220

Чертежи станка упрощенной конструкции, технологической оснастки, сортамент серии 3.400-7, выпуск 2 включены в комплект документации на разработанную технологию ЗМП.

Дополнительную информацию о данной технологии можно получить по тел. (095) 570-50-58.

В АНО «Секция «Строительство» Российской инженерной академии» можно приобрести книгу:

«Системные подходы к определению цен и управление стоимостью в строительстве». Справочное пособие с методиками и примерами расчетов. Авторы: академик РИА и МАИЭС, д.т.н., проф. Резниченко В.С. и инженер-экономист Ленинцев Н.Н.

В книге изложены:

- ♦ проблемы ценообразования в строительном комплексе Российской Федерации;
- ♦ организационно-экономические направления снижения стоимости строительства;
- ♦ зарубежный опыт ценообразования в строительстве;
- ♦ порядок разработки сметной документации в современных экономических условиях;
- ♦ содержание и пути совершенствования сметной нормативной базы;
- ♦ методика прогнозной оценки стоимости строительства в текущих ценах;

♦ методики формирования смет с применением ресурсного, ресурсно-индексного и ресурсно-ранжирного методов;

♦ рекомендации по совершенствованию оценки стоимости материальных ресурсов;

♦ рекомендации по совершенствованию оценки стоимости эксплуатации строительных машин и механизмов;

♦ рекомендации по совершенствованию методов оценки оплаты труда рабочих;

♦ рекомендации по оценке затрат на содержание службы заказчика;

♦ программные комплексы по оценке стоимости строительства.

Объем книги – 465 стр., книга издана ограниченным тиражом.

Контактные телефоны: (095) 174-75-67, 174-75-80, 171-43-74

А.М.ЗУЛПУЕВ, канд. техн. наук, доц. (Баткенский госуниверситет Республики Кыргызстан)

Расчет изгибаемых плитных элементов и систем из них с учетом нелинейной работы по методу сосредоточенных деформаций

В изгибаемых плитных элементах сложности состоят в том, что сечения по плоскостям сосредоточенных деформаций являются комплексными (см. рисунок). А так как бетон работает упруго лишь при небольших нагрузках, то с развитием неупругих деформаций по высоте железобетонной плиты плоскость, соединяющая точки с нулевыми деформациями, меняет свое положение, отклоняясь от нейтральной плоскости для упругого состояния [1,2].

Кроме того, в общем случае железобетонная плита будет распорной системой, т.е. ее закрепление на опорах практически невозможно осуществить на уровне нейтральной плоскости, меняющей свое положение в зависимости от уровня загрузки [3].

На основе метода сосредоточенных деформаций задача по расчету напряженно-деформированного состояния изгибаемой железобетонной плиты решается в следующем порядке:

- На основании экспериментальных данных устанавливается связь между напряжениями и соответствующими деформациями в форме "одноосных" диаграмм с учетом напряженно-деформированного состояния бетона (и арматуры) в условиях изгиба железобетонной плиты;

- В элементе МСД принимаются определенные законы распределения деформаций сжатия (растяжения) и сдвига по плоскостям сосредоточенных деформаций;

- Составляются выражения, связывающие перемещения по граням элемента МСД и соответствующими деформациями;

- По всем плоскостям сосредоточенных деформаций вычисляется внутренние усилия $\{F\}$;

- Формируются матрицы $[Э]_k$ для k -го элемента МСД;

- Составляется элементная матрица внутренней жесткости $[K]_k$, а затем матрица внутренней жесткости $[K]$ для всей рассчитываемой системы;

- Строится матрица равновесия $[A]_k$ для k -го элемента МСД и всей системы $[A]$, а затем матрица внешней жесткости

$$[R] = [A]^* [K]^* [A]^T;$$

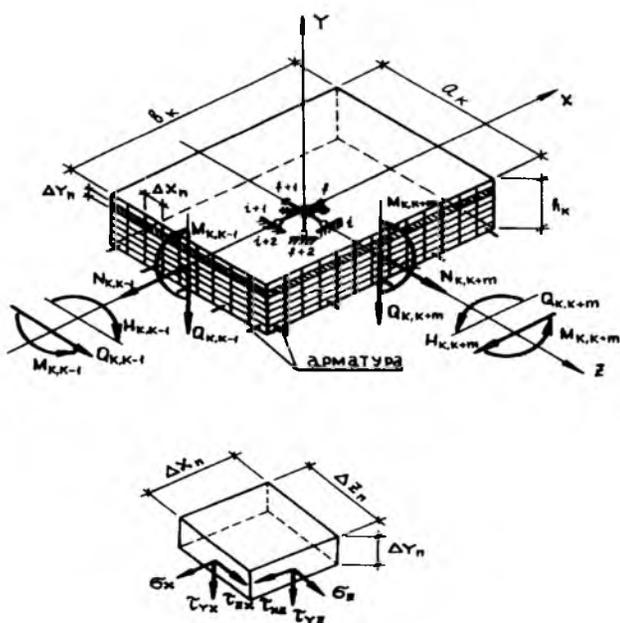
- Формируется и решается система уравнений метода перемещений с числом неизвестных 6^*m^*n , где 6 – число степеней свободы каждого элемента МСД, m и n – число элементов МСД в одном и другом направлении рассчитываемой плитной системы;

- Из решения системы алгебраических уравнений определяются перемещения элементов МСД (по три линейных и три угловых на каждый элемент), а затем сосредоточенные деформации по границам между элементами МСД;

- По сосредоточенным деформациям на основе диаграмм "напряжения-деформации" для бетона и арматуры находятся обобщенные секущие модули деформаций и по ним формируются матрицы внутренней жесткости $[K]$, внешней жесткости $[R]$, и вновь повторяется решение при заданном векторе внешних сил с проверкой сходимости итерационного процесса. Достижение стабилизации можно контролировать результатами смежных итераций всех элементов вектора деформаций или по какому-либо его отдельному составляющему (например, по прогибу). Это условие можно представить в виде

$$(\lambda_{i+1} - \lambda_i) / (\lambda_{i+1} + \lambda_i) \leq \beta, \quad (1)$$

где λ_i, λ_{i+1} – элементы вектора деформаций в смежных i -ой и $(i+1)$ -ой итерациях; β – некоторое малое число.



Железобетонная плита, расчетная схема по МСД

- После стабилизации итерационного процесса по условию (1) окончательно определяются перемещения, взаимные смещения и внутренние усилия для всех элементов МСД, опорные реакции системы и т.д., которые выводятся на печать.

Для упрощения алгебраических выражений рассмотрим отдельно силы и перемещения, отвечающие изгибному напряженному состоянию и плоскому напряженному состоянию. Такое условное деление усилий и перемещений позволяет использовать формально решения, полученные для плоско-напряженных и изгибно-напряженных плит.

Особенности расчета железобетонных плит с учетом нелинейной работы элементов, в отличие от упругой постановки задачи, заключается в формировании матрицы жесткости, где появляются дополнительные побочные элементы. Последние отражают взаимное влияние продольных сил и изгибающих моментов, действующих по плоскостям сосредоточенных деформаций. В то же время следует сказать, что элементы матрицы нелинейны, что объясняется неупругими деформациями бетона и арматуры.

В любой точке плоско- и изгибно-напряженного элемента соотношение между нормальными (σ_x и σ_z) и касательными ($\tau_{x,z}$, $\tau_{y,z}$, $\tau_{z,x}$, $\tau_{y,x}$) напряжениями и соответствующими деформациями можно выразить (см. рисунок)

$$\begin{aligned}\sigma_z &= D'_z(\varepsilon_z, \varepsilon_x, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}) * \varepsilon_z; \\ \tau_{xz} &= D'_{xz}(\gamma_{xz}, \varepsilon_z, \varepsilon_x, \gamma_{yz}) * \gamma_{xz}; \\ \tau_{yz} &= D'_{yz}(\gamma_{yz}, \varepsilon_z, \varepsilon_x, \gamma_{yz}) * \gamma_{yz}; \\ \tau_{zx} &= D'_{zx}(\gamma_{zx}, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{yx}) * \gamma_{zx}; \\ \sigma_x &= D'_x(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}) * \varepsilon_x; \\ \tau_{yx} &= D'_{yx}(\gamma_{yx}, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{zx}) * \gamma_{yx}\end{aligned}\quad (2)$$

где D' - секущие модули "одноосного" деформирования, являющиеся сложными функциями составляющих деформаций, указанных в круглых скобках.

Для арматуры зависимость " $\sigma_s - \varepsilon_s$ " принимается одноосной, без учета объемного напряженно-деформированного состояния

$$\sigma_s = E'_s * \varepsilon_s, \quad (3)$$

где E'_s - секущий модуль деформаций арматуры.

Деформирование элементов МСД примем таким, которое позволяет наиболее просто и практично обеспечить достаточную точность: в пределах каждой стороны элемента МСД в направлении координатных осей справедлив закон плоских сечений; поперечные и сдвиговые деформации принимаются постоянными (усредненными) по каждой из сторон элемента МСД.

На основании вышеизложенного взаимосвязь между перемещениями и деформациями для каждой грани k -го элемента запишем в общем виде

$$\{\varepsilon\}_k = [L]_k^{-1} * \{v\}_k, \quad (4)$$

где $\{\varepsilon\}_k$ - вектор осевых и сдвиговых деформаций; $[L]_k^{-1}$ - геометрическая матрица (матрица размеров); $\{v\}_k$ - вектор перемещений граней в изгибном и плоском напряженных состояниях.

С учетом (4) формула (2) примет вид

$$\{\sigma\}_k = [D]_k * [L]_k^{-1} * \{v\}_k \quad (5)$$

Внутренние силы по граням k -го элемента можно выразить через напряжение так

$$\{F\}_k = [S]_k * [D]_k * [L]_k^{-1} * \{v\}_k \quad (6)$$

или учитывая, что

$$[S]_k * [D]_k * [L]_k^{-1} = [K]_k, \quad (7)$$

получим

$$\{F\}_k = [K]_k * \{v\}_k, \quad (8)$$

где $[K]_k$ - матрица жесткости k -го элемента, составляющие которой представляют собой внутренние силы при единичных перемещениях граней.

Уравнения типа (8) записываются для всех элементов МСД, окружающих k -ый элемент. Тогда для $(k-m)$ -го элемента имеем

$$\{F\}_{k-m} = [K]_{k-m} * \{v\}_{k-m} \quad (9)$$

Решая соотношения (8) и (9) относительно перемещений, получим

$$\begin{aligned}\{v\}_k &= \{F\}_k * [B]_k \\ \{v\}_{k-m} &= \{F\}_{k-m} * [B]_{k-m},\end{aligned}\quad (10)$$

где $[B]_k$ и $[B]_{k-m}$ - матрицы податливости k -го и $(k-m)$ -го элементов соответственно.

Суммируя одноименные перемещения по смежным граням k -го и $(k-m)$ -го элементов, получим

$$\{v\}_k + \{v\}_{k-m} = ([B]_k + [B]_{k-m}) * \{F\}_{k,k-m}$$

$$\text{или } \{F\}_{k,k-m} = [K]_{k,k-m} * \{\Delta v\}_{k,k-m}, \quad (11)$$

где $\{F\}_{k,k-m} = \{F\}_{k-m,k}$ - вектор внутренних сил по линии сосредоточенных деформаций между k -м и $(k-m)$ -м элементами; $\{\Delta v\}_{k,k-m}$ - взаимные смещения смежных граней k -го и $(k-m)$ -го элементов; $[K]_{k,k-m}$ - матрица элементной внутренней жесткости k -го элемента.

Рассмотрим железобетонный элемент МСД (1), внутренние силы по граням которого образуют вектор $\{F\}_k$; нормальные сечения по каждой из граней будем рассматривать в дискретной форме.

Для вертикальных сечений k -го элемента на основании формулы (4) установим взаимосвязь между перемещениями и деформациями. Например, для $k, k-m$ -ой грани плиты будем иметь в точке с координатной $x_{\theta(k,k-m)}$ и $y_{\theta(k,k-m)}$

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \omega_{k,k-m} / a_{k,k-m} - \varphi_{k,k-m} * x_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m} - \beta_{k,k-m} * y_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m} \\ \gamma_{zx} &= u_{k,k-m} / a_{k,k-m} + \alpha_{k,k-m} * y_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m} \\ \gamma_{yx} &= v_{k,k-m} / a_{k,k-m} \end{aligned} \quad (12)$$

Используя формулы (12), запишем выражение для нормальных и касательных напряжений по $k, k-m$ -й грани

$$\begin{aligned} \sigma_{z,\theta(k,k-m)} &= E'_{\theta(k,k-m)} * (\omega_{k,k-m} / a_{k,k-m} - \varphi_{k,k-m} * x_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m} - \beta_{k,k-m} * y_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m}) \\ \tau_{zx,\theta(k,k-m)} &= G'_{\theta(k,k-m)} * (u_{k,k-m} / a_{k,k-m} + \alpha_{k,k-m} * y_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m}) \\ \tau_{zy,\theta(k,k-m)} &= G'_{\theta(k,k-m)} * (v_{k,k-m} / a_{k,k-m}) \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь $E'_{\theta(k,k-m)}$ и $G'_{\theta(k,k-m)}$ - секущие модули деформаций и сдвига бетона; где $E'_{\theta} = \nu * E_{\theta}$; $\nu = e^{m * (\varepsilon / \varepsilon) - m}$; $m = \ln(R_{\theta} / E_{\theta} * \varepsilon)$ (см. рисунок) являются переменными в пределах длины $(k, k-m)$ -ой грани и зависят от соотношения и уровня деформаций по (12).

Таким же образом можно записать соотношения для арматурного стержня на грани $(k, k-m)$ -ой грани

$$\begin{aligned} \sigma_{z,s(k,k-m)} &= E'_{s(k,k-m)} * (\omega_{k,k-m} / a_{k,k-m} - \varphi_{k,k-m} * x_{\theta(k,k-m)} / a_{k,k-m} - \beta_{k,k-m} * y_{s(k,k-m)} / a_{k,k-m}) \\ \tau_{zs,s(k,k-m)} &= G'_{s(k,k-m)} * (u_{k,k-m} / a_{k,k-m} + \alpha_{k,k-m} * y_{s(k,k-m)} / a_{k,k-m}) \\ \tau_{zs,s(k,k-m)} &= G'_{s(k,k-m)} * (v_{k,k-m} / a_{k,k-m}) \end{aligned} \quad (14)$$

Учитывая дискретную схему для $(k, k-m)$ -ой грани, запишем выражения для равнодействующих для внутренних сил по этой грани

$$\begin{aligned} N_{k,k-m} &= (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s) * \omega_{k,k-m} / a_{k,k-m} - (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} * x_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s * x_s) * \varphi_{k,k-m} / a_{k,k-m} - (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} * y_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s * y_s) * \beta_{k,k-m} / a_{k,k-m} \\ M_{k,k-m} &= -(\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s) * \omega_{k,k-m} / a_{k,k-m} + (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} * x_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s * x_s) * \varphi_{k,k-m} / a_{k,k-m} + (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} * y_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s * y_s) * \beta_{k,k-m} / a_{k,k-m} \\ Q_{k,k-m} &= -(\sum_{\theta} G'_{xz,\theta} * A_{\theta} + \sum_s G'_{xz,s} * A_s) * u_{k,k-m} / a_{k,k-m} + (\sum_{\theta} G'_{xz,\theta} * A_{\theta} * y_{\theta} + \sum_s G'_{xz,s} * A_s * y_s) * \alpha_{k,k-m} / a_{k,k-m} \\ M_{k,k-m} &= -(\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s) * \omega_{k,k-m} / a_{k,k-m} + (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} * x_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s * x_s) * \varphi_{k,k-m} / a_{k,k-m} + (\sum_{\theta} E'_{z,\theta} * A_{\theta} * y_{\theta} + \sum_s E'_{z,s} * A_s * y_s) * \beta_{k,k-m} / a_{k,k-m} \\ H_{k,k-m} &= -(\sum_{\theta} G'_{xz,\theta} * A_{\theta} * y_{\theta} + \sum_s G'_{xz,s} * A_s * y_s) * u_{k,k-m} / a_{k,k-m} + (\sum_{\theta} G'_{xz,\theta} * A_{\theta} * y_{\theta}^2 + \sum_s G'_{xz,s} * A_s * y_s^2) * \alpha_{k,k-m} / a_{k,k-m} \\ Q_{k,k-m} &= -(\sum_{\theta} G'_{yz,\theta} * A_{\theta} + \sum_s G'_{yz,s} * A_s) * v_{k,k-m} / a_{k,k-m} \end{aligned} \quad (15)$$

Соотношение (15) можно представить в матричном виде, используя уравнения равновесия для нормального сечения

$$\begin{bmatrix} N_s \\ M_s \\ Q_s \\ M_s \\ H_s \\ Q_s \end{bmatrix}_{k,k-m} \begin{bmatrix} \vartheta_{11} & \vartheta_{12} & & \vartheta_{14} & & \\ \vartheta_{21} & \vartheta_{22} & & \vartheta_{24} & & \\ & & \vartheta_{33} & & \vartheta_{34} & \\ \vartheta_{41} & \vartheta_{42} & & \vartheta_{44} & & \\ & & \vartheta_{53} & & \vartheta_{54} & \\ & & & & & \vartheta_{65} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon_z \\ k_{\nu} \\ \gamma_x \\ K_s \\ \beta_z \\ \gamma_y \end{bmatrix}_{k,k-m}$$

(16)

или

$$\{F\}_{k,k-m} = [\mathcal{E}]_{k,k-m} * \{\lambda\}_{k,k-m},$$

где $\{F\}_{k,k-m}$ - вектор внутренних усилий в сечении $(k,k-m)$; $[\mathcal{E}]_{k,k-m}$ - матрица жесткости этого же сечения; $\{\lambda\}_{k,k-m}$ - вектор соответствующих деформаций.

Аналогичные выражения для усилий можно записать и для других граней.

Таким образом, для сечений железобетонной плиты установлена взаимосвязь между внутренними силами и соответствующими деформациями, которая в общем виде запишется для k -го элемента

$$\{F\} = [\mathcal{E}] * \{\lambda\} \quad (17)$$

На основании вышеизложенного взаимосвязь между внутренними силами и перемещениями граней элементов МСД можно записать в виде

$$\{F\} = [K] * \{\lambda\} * \{L\}, \quad (18)$$

где $[K]$ - элементная матрица жесткости; $\{L\}$ - вектор расстояний от точек закреплений элементов связями метода перемещений до соответствующих граней.

Из уравнений (17) и (18) получим

$$[K] = [\mathcal{E}] * \{L\}^{-1} \quad (19)$$

Сравнивая формулы (8) и (19), можно записать

$$\{\lambda\} * \{L\} = \{v\} \quad (20)$$

Тогда из (19) окончательно имеем

$$\{F\} = [K] * \{v\} \quad (21)$$

Зная элементную матрицу жесткости $[K]$, можно построить матрицу внутренней жесткости комплексных связей $[K]_k$, элементы которой означают внутренние силы по плоскостям сосредоточенных деформаций при единичном смещении соседних элементов в направлении связей МСД.

Выводы

1. Предложенная методика и алгоритм расчета представляют возможность использовать реальные диаграммы деформирования материалов, учитывая физическую нелинейность и неравномерность развития нормальных и касательных напряжений по высоте сечения элементов и опирания в стесненных условиях, т.е. с учетом эффекта распора.

2. Разработанная методика позволяет оценить напряженно-деформированное состояние конструкции как по первой, так и по второй группе предельных состояний при любых уровнях нагружения.

Библиографический список

1. Карпенко Н.И. К расчету железобетонных пластин и оболочек с учетом трещин//Строительная механика и расчет сооружений. – 1971. – № 1. –С.7-13.
2. Додонов М.И. Расчет изгибаемых пластин методом сосредоточенных деформаций//Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – № 2. – С.22-25.
3. Зулпуев А.М. Сборные железобетонные плиты перекрытий в монолитных многоэтажных зданиях. В кн.: Тезисы Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Апрель, 1989. – Душанбе.1990. – С.103.

В.С.ЗЫРЯНОВ, д-р. техн. наук, проф., К.М.ТЕЛЪКОНУРОВ, инж. (ЦНИИЭП жилища)

Расчет прочности плит перекрытий с краевой нагрузкой от наружных стен

В последние годы в качестве ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, в частности, крупнопанельных, широко применяются ненесущие (навесные) наружные стены из мелкоштучных элементов: легкобетонных и ячеистобетонных блоков, кирпича и др. Нагрузка от них передается на свободный край плиты перекрытия в виде локальных сосредоточенных и линейных нагрузок различной интенсивности, которые для упрощения расчета плиты приводятся к эквивалентной линейной нагрузке. Нормативная величина ее может составлять 5–7 кН/м. На остальную часть плиты прикладывается равномерно распределенная по площади или приведенная к ней нагрузка, норматив-

ные значения которой с учетом собственного веса составляют 6–8 кПа.

Как показали экспериментальные исследования опертых по трем сторонам плит перекрытий крупнопанельных жилых зданий с краевой нагрузкой от наружных стен, в предельном состоянии по прочности развитие трещин в них близко к "полуконвертной" схеме, поэтому расчет может производиться как плит, работающих в двух направлениях, с использованием метода предельного равновесия.

В связи с наличием краевой нагрузки в плите значительно увеличиваются изгибающие моменты, что следует учитывать при расчете и конструировании ра-

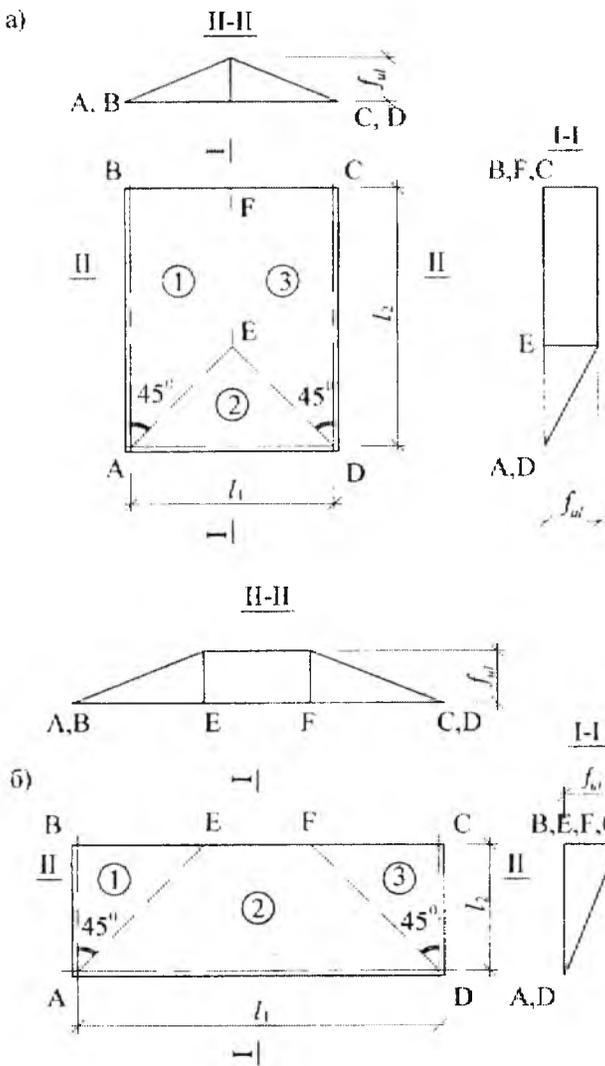


Рис. 1. Расчетные схемы плит, свободно опертых по трем сторонам (BC – свободный край)

а – при $\lambda \geq 0,5$; б – при $\lambda < 0,5$

бочей арматуры. Было рассмотрено два возможных варианта расчета свободно опертых по трем сторонам плит (защемление в платформенных стыках при расчетах по прочности не учитывается).

По первому из них, наиболее приемлемому для подбора арматуры, расчет производится отдельно от “комнатной” равномерно распределенной по площади и краевой линейной нагрузок.

Подбор арматуры плит, опертых по трем сторонам, при действии равномерно распределенной по площади нагрузки, с наиболее распространенным отношением пролетов $\lambda = l_2 / l_1 \geq 0,5^*$ производится по формулам, полученным с использованием “классической” схемы излома кинематического способа (рис. 1), вывод которых аналогичен приведенному в [1]:

* для случая $\lambda < 0,5$ подобные формулы приведены в [3].

$$A_{s1}^{un} = \frac{(6\lambda - 1) \cdot \lambda \cdot q \cdot \gamma_n \cdot l_1^3 \cdot k_c}{24(2\lambda + m) \cdot R_{s1} \cdot h_{01}}; \quad (1)$$

$$A_{s2}^{un} = \frac{(6\lambda - 1) \cdot m \cdot q \cdot \gamma_n \cdot l_1^3 \cdot k_c}{24(2\lambda + m) \cdot R_{s2} \cdot h_{02}}; \quad (2)$$

где q – расчетная нагрузка на единицу площади плиты; γ_n – коэффициент надежности по ответственности, принимаемый по СНиП 2.01.07-85*; A_{s1}^{un} и A_{s2}^{un} – суммарные площади арматуры, направленной соответственно параллельно и перпендикулярно свободному краю; R_{s1} и R_{s2} – расчетные сопротивления арматуры A_{s1} и A_{s2} ; h_{01} и h_{02} – рабочие высоты арматуры A_{s1} и A_{s2} ; $m = m_2 / m_1$ – отношение единичных изгибающих моментов, возникающих в упругой стадии (рис. 2); k_c – коэффициент, учитывающий эффект концентрации арматуры A_{s1} на половине плиты у свободного края (только от равномерно распределенной по площади части нагрузки):

$$\text{при } \varphi_c = 2 \quad k_c = 1;$$

$$\text{при } \varphi_c = 1 \quad k_c = 1,1 + 0,1 \cdot (\lambda - 0,5); \quad (3)$$

при $1 < \varphi_c < 2$ – по интерполяции;

φ_c – коэффициент концентрации, равный

$$\varphi_c = A_{s1}^{ex} / A_{s1}^{in}; \quad (4)$$

где A_{s1}^{ex} – доля арматуры A_{s1} на половине плиты, примыкающей к наружной стене; A_{s1}^{in} – то же, на противоположной половине.

При подборе арматуры от нагрузки q по формулам (1), (2) необходимо задаваться коэффициентом φ_c , а после определения требуемой A_{s1}^{un} располагать ее с выделением части арматуры A_{s1}^{ed} вблизи свободного края так, чтобы фактический коэффициент φ_c , вычис-

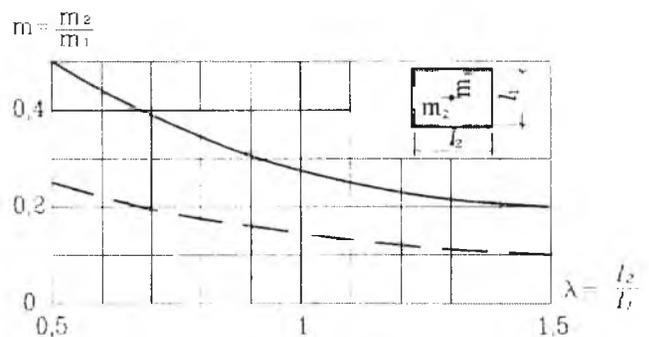


Рис. 2. Зависимости m от λ в плитах, опертых по трем сторонам

— теоретическая при работе в упругой стадии (m_1 и m_2 – максимальные единичные моменты); - - - - нижний допустимый предел для подбора арматуры

ленный по формуле (4), совпадал или незначительно отличался от заданного.

Что касается краевой нагрузки, то подбор дополнительной арматуры A_{s12}^{ed} от нее должен производиться по существующей для балочных плит и балок методике [2]; при этом изгибающий момент определяется без затруднений как для свободно опертой балочной плиты

$$M_{ed} = q_{ed} \cdot l_1^2 / 8, \quad (5)$$

где q_{ed} – расчетная приведенная к линейной краевая нагрузка.

Некоторые трудности представляло назначение ширины рассчитываемой балочной плиты; в результате анализа ширина этой краевой “пристенной” полосы была принята по аналогии с рекомендациями СНиП 2.03.01-84* для тавровых сечений

$$b_{ed} = b_p + b_{св.1} + b_{св.2}, \quad (6)$$

где b_p – ширина “скрытого” ребра, приближенно равная толщине плиты $b_p = h$; $b_{св.1}$ – условный свес внутрь здания, принимаемый меньшей из регламентированных СНиП величин $b_{св.1} = 6h$; $b_{св.1} = l_1/6$; $b_{св.2}$ – свес наружу здания, принимаемый с учетом конструктивных особенностей этой части плиты, поскольку он всегда меньше $6h$ и $l_1/6$.

Важной положительной стороной рассмотренного варианта расчета следует считать возможность прямого определения необходимого количества дополнительной арматуры A_{s1}^{ed} , воспринимающей момент от краевой нагрузки. Недостатком же является некоторая сложность его использования для проверки прочности, а также при анализе экспериментальных данных.

Для решения этих задач может быть применен второй вариант расчета, при котором все нагрузки, включая краевые, приводятся к эквивалентной равномерно распределенной по площади нагрузке q_3 , после чего расчет прочности производится только на эту нагрузку.

Нагрузка q_3 определяется из выражения

$$q_3 = q + q_{ed} \cdot A_{ed} / V, \quad (7)$$

где A_{ed} и V – площадь и объем фигур, образуемых соответственно под нагрузками q_{ed} и q_{un} при единичном возможном перемещении точек E и F.

Проверка прочности плит, свободно опертых по трем сторонам, при совместном действии равномерно распределенной по площади и краевой нагрузок при $\lambda \geq 0,5^*$ производится по формуле

$$q_3 \cdot \gamma_n \leq \frac{24(M_1 + M_2)}{l_1^2(6l_2 - l_1) \cdot k_{c2}} = q_{ul}, \quad (8)$$

где M_1 и M_2 – предельные моменты усилий в арматуре, пересекающей сечения 1-1 и 2-2 (см. рис.1), рассчитываемые по формулам СНиП 2.03.01-84*.

При этом коэффициент k_{c2} находится по обобщен-

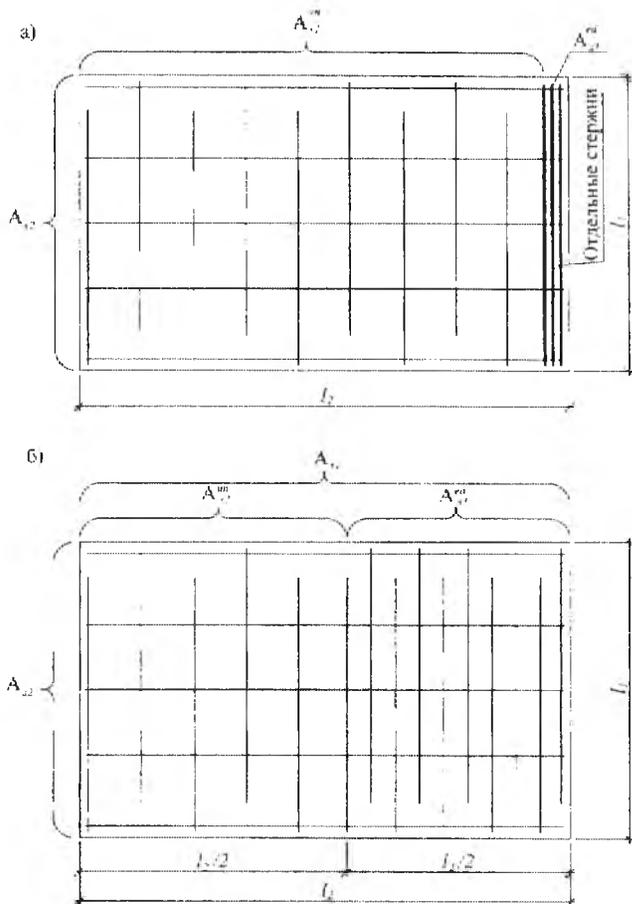


Рис. 3. Принципиальные схемы концентрации арматуры у свободного края плит, опертых по трем сторонам

а – отдельными стержнями; б – в сетках с переменным шагом стержней

ному коэффициенту концентрации арматуры ϕ_{c2} , который определяется по формуле (4) с учетом дополнительной арматуры A_{s12}^{ed} от краевой нагрузки.

Концентрация арматуры A_{s1} у свободного края может осуществляться различными способами. Наиболее эффективным из них по прочности и достаточно технологичным является усиление краевой полосы отдельными стержнями, располагаемыми как можно ближе к наружной стене (рис. 3,а). При установившемся технологическом режиме завода-изготовителя возможны и другие варианты (рис. 3,б).

Библиографический список

1. Зырянов В.С. Подбор арматуры плит, опертых по контору // Жилищное строительство. – 2002. - №6.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84) – М.: ЦИТП России, 1987.
3. Рекомендации по расчету и конструированию сплошных плит перекрытий крупнопанельных зданий. – М.: ЦНИИЭП жилища, 1989.

Г.Н.ПШЕНИЧНЫЙ, канд. техн. наук (Кубанский государственный технологический у-т, Краснодар)

Фактор времени при формировании железобетонных конструкций

Железобетонные изделия и конструкции (как сборные, так и монолитные) в обязательном порядке следует изготавливать с многократным (циклическим) вибрированием [1], что позволит при незначительных энергозатратах сократить расход портландцемента, повысить свойства и долговечность бетона. Виброактивация должна найти широкое распространение на стеновых, кассетно-стендовых, карусельных и других линиях, поскольку «вписывается» в технологический ритм и легко автоматизируется. Там же, где данный технологический прием сложноосуществим (например, при поточно-агрегатном производстве), целесообразно предварительно выдерживание бетонной смеси, с последующей ее укладкой в форму (опалубку) и тщательным уплотнением. «Оптимальное время укладки бетонной смеси», как технологическая операция, совмещает в одном приеме формование изделий и их «повторную обработку» [2].

Положительное влияние «выдерживания» приготовленной бетонной смеси на конечную прочность бетона было установлено еще в 30-е годы прошлого столетия [3]. Последующие специально выполненные исследования [2,4-6 и др.] убедительно показали, что бетонную смесь перед формированием следует выдерживать определенный интервал времени, что позволит без всяких дополнительных затрат получить более качественный бетон. Вопрос лишь в том, чему равен этот «определенный интервал времени» и когда следует проводить бетонные работы?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо отметить некоторые особенности, сопровождающие

процесс гидратационного твердения портландцемента. Цементная система – это циклически самоуплотняющийся объект, что выражается в циклически наступающих моментах резкого увеличения структурной прочности твердеющего материала (так называемых «переходных моментах»). Причем ни водоцементный фактор, ни присутствие заполнителя не оказывают влияния на время наступления указанных моментов [1]. Циклическость твердения связана с протекающими на границе раздела фаз «поверхность клинкерного зерна – вода» электроповерхностными явлениями, вызывающими стадийное образование, развитие и последующий распад промежуточных энергетических структур, обуславливающими такой же характер химического взаимодействия цементных минералов с водой. Иначе говоря, взаимодействие гетерогенной цементной системы осуществляется через промежуточные состояния – состояния «активированного комплекса с более высоким энергетическим уровнем, по сравнению с исходным и конечным состоянием системы» [7].

Стадийность электрохимического процесса приводит к такому же характеру потребления зернами вяжущего воды затворения, что вызывает развитие в межзерновых пустотах вакуума – «движущей силы» стяжения системы, формирования и упрочнения структуры цементного камня (бетона). Взаимодействие компонентов локализовано на границе раздела фаз, в связи с чем количество воды затворения и заполнитель не влияют на качественный ход процесса.

Укладку бетонной смеси необходимо производить в одном из начальных моментов самоуплотнения

цементной системы («переходных моментов») [1], с учетом изменения формовочных свойств смеси. Оптимальное время укладки устанавливается предварительными исследованиями и пробными экспериментами, включающими изучение структурообразования цементного теста с несколькими значениями В/Ц (например, 0,26; 0,28 и 0,30), твердеющего при конкретных технологических условиях (температурных, с химическими добавками и др.), уточнение времени наступления «переходных моментов» (по характерным переломам построенных пластограмм), определение кинетики жесткости конкретной смеси и испытание на прочность контрольных образцов, отформованных в различные сроки.

Предварительное выдерживание смеси требует использования специальных промежуточных бункеров, производственных площадей, что не всегда приемлемо. В этой связи практический интерес представляет сокращение продолжительности выдерживания за счет разогрева бетонной смеси (электрическим током в бункерах или паром в бетоносмесителях), применения химических добавок-ускорителей твердения или иных активизирующих воздействий.

Бытующее среди производителей мнение о необходимости немедленной укладки в дело горячей смеси является совершенно необоснованным. Для получения высококачественных железобетонных изделий последние необходимо изготавливать с обязательным учетом «фактора времени», будь то обычные (холодные) или предварительно разогретые смеси. В работе [8], например, приведено обоснование максимальной температуры пароразогрева керамзитобетонной

смеси (70...75°C) в переоборудованном бетоносмесителе С-951 при производстве наружных стеновых панелей на Энгельском ССК, с учетом технологически необходимой продолжительности выдерживания смеси и кинетики структурообразования цементного камня.

Химические добавки-ускорители твердения, повышая активность диполей, интенсифицируют гидратацию цементных минералов и структурообразование цементного камня, что также позволяет сократить продолжительность предварительного выдерживания бетонной смеси до укладки в форму. Ниже представлены экспериментальные результаты по использованию в качестве такой добавки хлористого кальция.

Для проведения опытов использовали растворные смеси состава 1:2 на Новороссийском портландцементе с В/Ц=0,45 и 0,6 и содержанием добавки 1% от массы цемента. При указанном содержании добавки цикличность твердения смесей, определенная по методике [9], составляла 50 мин (рис. 1). Образцы-балочки размером 4x4x16 см изготавливали обычным способом (сразу после приготовления смеси) и после выдерживания смеси в течение 25, 50, 75... 150 мин с момента затворения цемента водой. Для предотвращения влагопотерь выдерживаемую смесь укрывали полиэтиленовой пленкой. После изготовления образцы помещали в камеру стандартных условий и испытывали в 28-суточном возрасте. Результаты испытания на прочность при сжатии представлены на рис. 2.

Максимальная прочность образцов, изготовленных из растворной смеси с В/Ц=0,45, достигается при укладке через 100 мин с момента затворения цемента; из смеси с В/Ц=0,6 – через 150 мин (прирост прочности, соответственно, 30 и 40%, по сравнению с традиционным производством). Таким образом, оптимальным временем укладки смеси с В/Ц=0,45 является время протекания второго цикла гидратообразования, с В/Ц=0,6 – третьего цикла.

Как видно, исходное водосодержание (подвижность) оказывает значительное влияние на оптимальные сроки укладки смеси. К моменту укладки смесь должна обладать

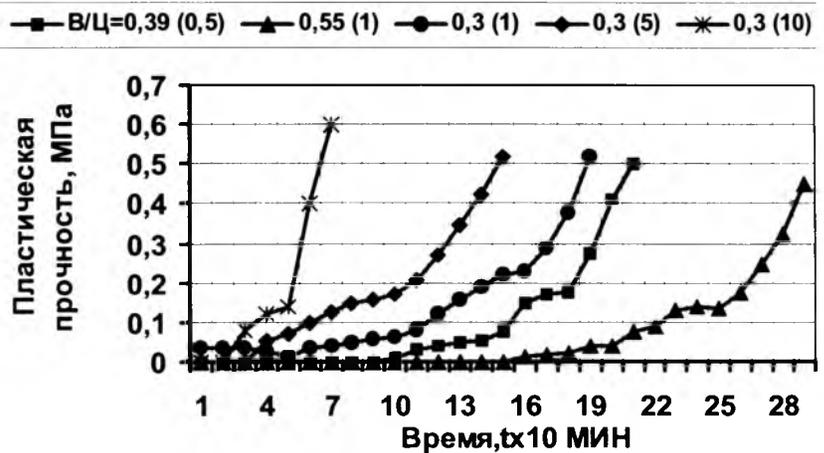


Рис.1. Кинетика пластической прочности растворов смесей с добавкой хлористого кальция (в скобках – содержание добавки в % от массы цемента)

определенной структурной прочностью, обеспечивающей получение максимального результата при согласовании самоуплотнения клинкерных зерен и вибрационного воздействия. В каждом конкретном случае время укладки смеси определяется экспериментально.

Оптимальное время укладки бетонных смесей – один из аспектов «направленного» воздействия на твердеющий бетон, позволяющий ускорить его твердение и повысить конечные свойства. Данный технологический прием весьма эффективен при монолитном строительстве. Как правило, при возведении монолитных сооружений применяют высокоподвижные бетонные смеси,

которые доставляют на объект со специализированных бетоносмесительных цехов в автомиксерах, с помощью крана и бады (бетононасоса) «заливают» в опалубку и уплотняют глубинными вибраторами. Высота падения смеси нередко составляет три и более метра (например, при бетонировании колонн), что приводит к ее расслоению. Положение усугубляется при последующей обработке смеси глубинными вибраторами. После перемещения фронта работ на более высокие этажи на несущие элементы нижних этажей увеличивается нагрузка, что приводит к ползучести бетона, растрескиванию и шелушению мест стыка колонн с плитой перекрытия, появ-

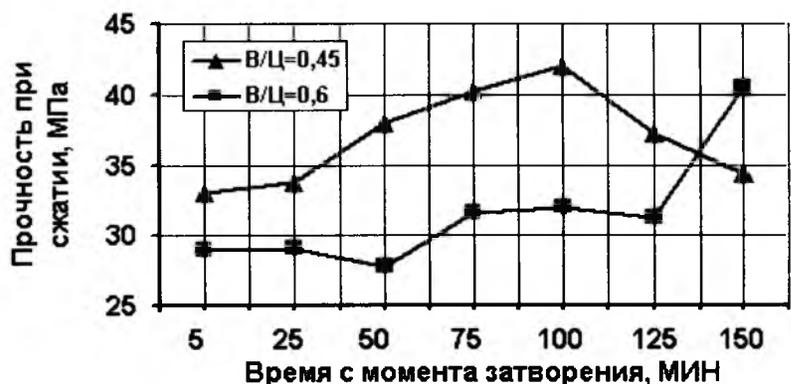


Рис.2. Прочность при сжатии образцов, изготовленных в различные сроки

лению и раскрытию в колоннах вертикальных и наклонных трещин. Все это приводит к необходимости усиления конструкций с помощью специально устраиваемых из силового проката «обойм». Разумеется, что столь мрачная картина не является всеобъемлющей, однако она достаточно типична.

Использование «фактора времени» в монолитном строительстве позволит в значительной степени нейтрализовать отмеченные негативные моменты, повысить качество работ и надежность конструкций. Учитывая время доставки смеси на стройплощадку и прочие подготовительные к ее укладке операции, следует предпринять конкретные технологические меры для согласования начала формовочных работ с протекающими в цементной системе структурообразующими процессами (использовать подогрев смеси, химические добавки, различные способы активации). Разумеется, что данная технология требует соответствующего к ней отношения – неукоснительного соблюдения технологического регламента и производственной дисциплины. Иначе и быть не может, если мы хотим создать осмысленную, «направленную» технологию бетона и железобетона.

Выводы

1. Формование сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций должно осуществляться с учетом «фактора времени» – согласования времени укладки и уплотнения бетонной смеси с протекающими в цементной системе структурообразующими процессами.

2. Формовочные работы следует производить в моменты самоуплотнения цементной системы, которые достаточно просто фиксируются предварительно выполненными пластометрическими исследованиями.

3. Конкретный режим формования зависит от начальной консистенции (подвижности) бетонной смеси и уточняется экспериментальным путем при отработке технологии и выпуске опытной партии изделий.

4. Оптимизируя время проведения формовочных работ, можно интенсифицировать твердение бетона, значительно повысить его свойства, надежность и долговечность конструкций.

Библиографический список

1. Азелицкая Р.Д., Черных В.Ф., Пшеничный Г.Н. О применении повтор-

ного вибрирования в заводской технологии//Бетон и железобетон. – 1982. – № 4. – с.10-11.

2. Шмигальский В.Н. Формование изделий на виброплощадках. – М.: Стройиздат, 1968, с.37-52.

3. Тарасов П.В. Влияние сроков укладки на прочность и консистенцию бетона в связи с центральным его изготовлением. Сб. Физико-механические свойства бетона. Госстройиздат, М-Л, 1939, с.68-85.

4. Ахвердов И.Н., Годзиев Н.С., Овадский И.М. Легкий бетон. – М.: Госстройиздат, 1955, с.55-60.

5. Симонов М.З. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. – М.: Госстройиздат, 1955, с.80-89.

6. Новиков В.Н. Определение качества легких бетонов по свойствам бетонной смеси. Сб. Легкие бетоны на пористых заполнителях. – М.: Госстройиздат, 1957, с.140-159.

7. Кузнецова Т.В., Кудряшев И.В., Тимашев В.В. Физическая химия вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1989, 384с.

8. Булыгин А.Н., Антонов В.М., Ожигибесов Ю.П., Пшеничный Г.Н., Бридня П.А. Изготовление керамзитобетонных изделий из пароразогретых бетонных смесей на Энгельсском ССК управления Саратовоблсельстрой. Экспресс-информация. Серия: строительные материалы, производство, испытания, конструкции. М., ЦНИИЭПсельстрой, 1979, вып.11.

9. Пшеничный Г.Н., Ганин В.П., Шкатуло Г.А. Пластометр пружинный//Бетон и железобетон. – 1985. – № 4. – с.26.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

С.П.КОЗЛОВ, А.В.ЧИЧАЕВ, инженеры (ООО "НПФ ИнСАТ-СПб")

Точное весовое дозирование сыпучих и жидких компонентов при производстве бетона

В условиях развивающихся в стране рыночных отношений руководство предприятий самых разных отраслей вынуждено всерьез задуматься о качестве выпускаемой продукции. Для многих – это вопрос выживания, ведь удержать потребителя продукции, а тем более завоевать нового, можно или снижением

цены относительно цен конкурентов, или повышением качества продукции. Цена всегда имеет какой-то нижний предел, перейдя через который предприятие элементарно может разориться. Поэтому неизбежно встает вопрос повышения качества продукции с одновременным снижением ее себестоимости.

Реальный способ повышения качества и снижения себестоимости - автоматизация технологических процессов. Фирма ИнСАТ-СПб уже несколько лет успешно занимается автоматизацией технологии в различных отраслях, в том числе разработкой, внедрением и модернизацией различных автоматизирован-

ных систем дозирования сыпучих и жидких компонентов, выпускает современные микропроцессорные контроллеры для всех видов дозирования, под заказ делает дозаторы. В данной статье авторы хотят поделиться накопленным опытом в разработке и внедрении систем управления весовыми одно- и многокомпонентными дозаторами, которые широко используются в разных отраслях промышленности, в том числе на большинстве бетоносмесительных узлов (БСУ).

Принципы построения систем автоматизации БСУ, предлагаемые ИнСАТ-СПб, доступны подавляющему большинству действующих предприятий. Предлагается многоуровневая система автоматизации (принцип конструктора), внедрение которой происходит во время плановых остановок, без специальной остановки производства на реконструкцию. Самый нижний уровень – это автоматическое управление конкретным одно- и многокомпонентным дозатором. Можно устанавливать новые тензометрические весовые дозаторы или модернизировать имеющиеся механические дозаторы, установив их на тензодатчики. При этом каждый дозатор может работать как автономно, так и увязываться в единую систему, в том числе и комбинированную, состоящую как из тензометрических, так и из механических дозаторов.

Комбинированная система нужна на переходной период, пока не будут заменены все механические дозаторы на тензометрические. Последние позволяют достичь высокой точности дозирования, но ввод задания и считывание информации производится отдельно для каждого дозатора. После того как будут установлены все тензометрические дозаторы, можно переходить к следующему уровню – единая компьютерная система управления всеми дозаторами, работающая от одной программы по общему рецепту. При этом ввод задания, включение/выключение, контроль процесса, сохранение информации осуществляется программой компьютера. Следую-

щий уровень – автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП) БСУ – служит для компьютерного управления всем оборудованием БСУ. АСУТП предназначена для: улучшения качества производимого бетона, повышения уровня живучести и надежности оборудования, улучшения условий труда операторов и обслуживающего персонала, автоматизации процесса дозирования и учета исходных компонентов и готовой продукции, исключения из технологической цепочки так называемого «человеческого фактора», возможности передавать и принимать утвержденные рецепты по сети из лаборатории, возможности контроля за процессом и за движением сырья и продукции по заводской сети с любого компьютера, которому разрешен доступ к информации и возможности при необходимости оперативно изменять программное обеспечение процесса.

Функции АСУТП: автоматическое и ручное управление двигателями дозаторов, насосов, задвижками и другими исполнительными механизмами, участвующими в работе системы с непрерывным контролем их работы; визуальный контроль за работой системы на табло контроллеров и дисплее компьютера; звуковое оповещение обслуживающего персонала в случае возникновения аварийной (нестандартной) ситуации; сохранение в архив полной информации о работе системы; распечатка рапортов и прочей необходимой информации из архива; связь по компьютерной сети с другими системами (компьютерами) для оперативного обмена информацией (получения рецепта, передачи данных в формате OPC); интегрирование в АСУТП цеха или завода через общезаводскую сеть.

Во всех этих разработках было необходимо использование контроллеров для непрерывного и дискретного весового дозирования сыпучих и жидких компонентов. Неудобство использования универсального контроллера для этих задач обусловлено трудоемкостью

реализации специфических алгоритмов оптимального дозирования, аппаратной избыточностью, необходимостью использования дополнительной операторской панели для обеспечения обязательной для таких систем функции контроля и управления процессом по месту. Немногочисленные, специализирующиеся на задачах весового дозирования контроллеры, присутствующие на российском рынке, не имеют встроенного алгоритма высокоточного дозирования, в них отсутствует возможность расширения программного обеспечения средствами пользователя и к тому же они не слишком дешевы. Проблема была решена разработкой и началом серийного выпуска собственных контроллеров серии **Master**, успешно решающих поставленные задачи. Узкая специализация описываемых контроллеров, отсутствие избыточности позволили разработчикам сосредоточиться на оптимизации основных функций прибора. В результате удалось добиться очень хорошего отношения цена/функциональность.

Контроллеры серии **Master** двух типоразмеров выполнены в евростандартных корпусах фирмы BOPLA для щитового монтажа размерами 96x96x65 мм и 96x96x165 мм, имеют переднюю панель, на которой размещены светодиодные или жидкокристаллические индикаторы и четырёхкнопочная клавиатура. Подключение внешних сигналов производится через клеммную колодку на задней панели. Питание приборов от сети 220±10%, 50 Гц. Максимальная потребляемая мощность – 4 (8) Вт. Исполнение обычное. Любые тензорезисторные датчики веса (от лучших западных образцов, например, фирмы SCAIME, до наиболее массовых отечественных) с характеристикой 1-3мВ/В подключаются непосредственно к дифференциальному входу АЦП, имеющего разрядность 16 бит. Также есть возможность подключения на вход стандартизированных сигналов: 0-10В, 0-5мА, 0-20мА, 4-20мА. Приборы имеют канал цифровой связи RS-

485, по которому может быть произведен опрос контроллера, ввод задания или осуществлено дистанционное управление выходами. В настоящее время имеется 7 моделей контроллеров, с помощью которых можно решить все существующие задачи дозирования.

Коротко опишем модели, которые уже нашли применение на БСУ:

Master-110.1 – микропроцессорный весоизмерительный контроллер. Предназначен для измерения и обработки сигналов веса и передачи данных по каналу цифровой связи RS-232 или RS-485 в ЭВМ верхнего уровня («**весовая головка**»).

Master-110.2 – предназначен для автоматического **управления процессами** точного **весового порционного дозирования** сыпучих и жидких компонентов, в том числе фасовкой. Контроллер обрабатывает сигналы веса и дискретные входы типа «сухой контакт» для ввода команд на разрешение дозирования и пуск. Основное отличие от аналогичных контроллеров других производителей – три режима управления исполнительным механизмом: «грубо», «точно» и «досыпка». Режимы переключаются автоматически в соответствии со скоростью изменения веса и его приближения к заданию. Алгоритм управляющей программы составлен таким образом, что при дозировании постоянно вычисляется величина приращения массы в единицу времени цикла программы, и соответственно вычисляется величина упреждения на отключение исполнительного механизма. После остановки последнего программа проверяет вес, и (если доза не превысила задание) включается режим «досыпка», при котором толчками необходимой длительности продукт досыпается до задания. Таким образом, без какой-либо дополнительной настройки прибора автоматически достигается минимальное время набора дозы при максимальной точности дозирования, причем независимо от заданной дозы, плотности дозируемого материала и высоты его столба в

бункере. Предельная точность дозирования определяется только конструкцией дозирующего механизма т.е. массой зоны возможного обрушения дозируемого материала после остановки привода. Точность дозирования достигает одной единицы младшего разряда измеренного значения веса (лучше, чем 0,1 %). Имеет интерфейс RS-485.

Master-110.4 предназначен для автоматического **управления процессами** точного **весового порционного дозирования** сыпучих и жидких компонентов, а также для фасовки. Контроллер обрабатывает сигналы веса и дискретные входы типа «сухой контакт» для ввода команд на разрешение дозирования и пуск. Отличается от Master-110.2 более простым алгоритмом управляющей программы и не имеет функций трехскоростного управления исполнительным механизмом и досыпки. При дозировании постоянно вычисляется величина приращения массы в единицу времени цикла программы, и соответственно вычисляется величина упреждения на отключение исполнительного механизма. Точность дозирования не хуже 0,5% (зависит от класса точности применяемых тензодатчиков и исполнительного механизма – можно получить точность не хуже 0,1 %). Имеет интерфейс RS-485.

Master-210.3 – специализированный интеллектуальный микропроцессорный контроллер. Предназначен для автоматического и ручного дистанционного **управления** многокомпонентными **весовыми дозаторами бункерного типа**. Позволяет осуществлять дозирование до пяти жидких и сыпучих компонентов в один бункер весов с точностью не хуже 0,3% от наибольшего предела взвешивания. Автоматическое управление может осуществляться в двух режимах. Первый представляет собой последовательное дозирование, при котором каждый компонент дозируется и выгружается из бункера весов последовательно. Второй режим – компоненты дозируются в бункер весов один за другим и выгружаются все

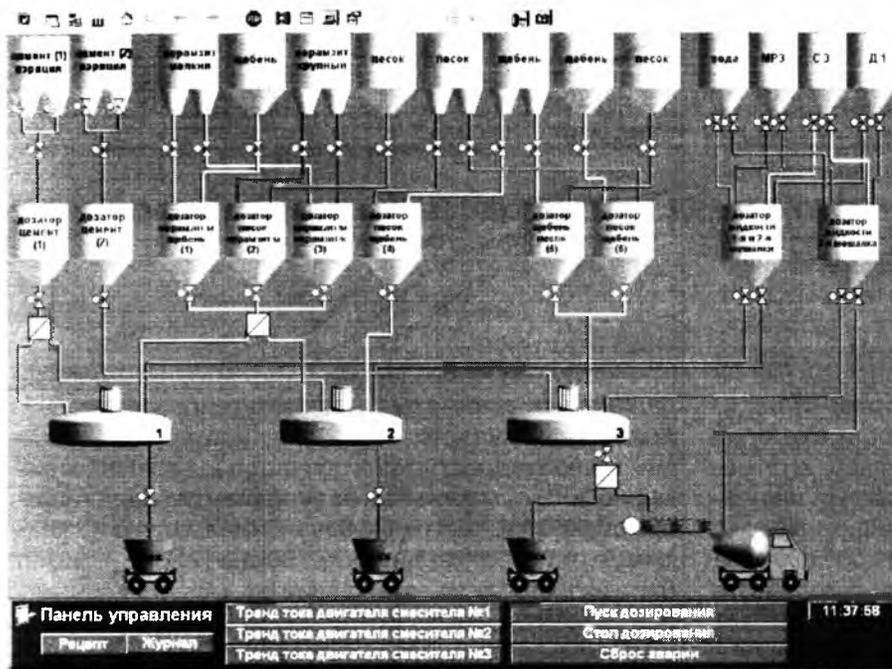
вместе. Выгрузка весов в любом случае происходит по разрешающему сигналу. Указанная точность дозирования достигается при простом управлении питателями дозатора типа «включить/выключить» за счет непрерывного вычисления скорости подачи и величины летящего слоя продукта. При необходимости более точного дозирования может быть применен способ управления питателями с изменением скорости подачи, например управление двигателем питателя с помощью частотного преобразователя. Для осуществления такого способа дозирования используется аналоговый выход прибора (0-10В, 4-20мА), который изменяет свое значение в зависимости от скорости подачи и степени приближения веса в бункере к заданию. Каждый из пяти питателей дозатора имеет свое задание, предварительно записанное в память контроллера. В нее можно занести до восьми наборов заданий веса (рецептов), которые выбираются либо с клавиатуры контроллера, либо внешним переключателем, образующим код из трех дискретных сигналов. Предварительная запись задания возможна как с клавиатуры контроллера, так и с удаленного рабочего места по интерфейсу RS-485.

Модели, которые могут быть в будущем применены на БСУ (все имеют интерфейс RS-485):

Master-110.3 предназначен для автоматического **управления процессами** точного **объемного порционного дозирования** и фасовки сыпучих и жидких компонентов. Рассчитан на работу с различными расходомерами.

Master-210.1 – специализированный интеллектуальный микропроцессорный контроллер. Предназначен для автоматического и ручного дистанционного **управления** весовыми **ленточными дозаторами непрерывного действия**. Может быть также применен для реализации функции «весы в потоке» на базе ленточного транспортера.

Master-210.2 – специализированный интеллектуальный микропро-



Мнемосхема

цессорный контроллер. Предназначен для автоматического и ручного дистанционного управления весовыми дозаторами непрерывного действия бункерного типа. Позволяет осуществлять непрерывное дозирование жидких и сыпучих компонентов по весу с точностью не хуже 0,5% в диапазоне дозирования от 1 до 100% производительности без перенастройки регулятора.

Ниже описаны варианты систем дозирования, применяемых на БСУ, сделанных с применением контроллеров «Мастер»:

БСУ-1 (см. рисунок с изображением мнемосхемы). На нижнем уровне десять однокомпонентных тензометрических дозаторов, работающих под управлением контроллеров «Мастер 110.4». Дозаторы устанавливаются и подключаются по очереди, во время переделки некоторое время одновременно работают тензометрические дозаторы и старые механические (пока не будут все заменены). Контроллеры установлены в операторской, в шкафу управления, рядом с пультом управления прочими механизмами БСУ. Задание выставляет оператор

с клавиатуры контроллеров. Пуск с общей кнопки, разгрузка в смеситель после набора дозы всеми дозаторами. Режим работы БСУ – «ручной», но с автоматическим набором точной дозы.

Следующий уровень. Устанавливается компьютер с прикладной программой управления узлом дозирования и смешивания БСУ, в шкаф управления устанавливается управляющий контроллер с платами ввода/вывода, откуда будет осуществляться управление механизмами, задействованными непосредственно в процессе дозирования и смешивания. Контроллеры «Мастер 110.4» через интерфейс RS-485 также подключаются к управляющему контроллеру. Узел дозирования и смешивания работает под управлением специальной программы в автоматическом режиме. Вся информация сохраняется и может быть передана в системы более высокого уровня. Режим работы БСУ – «полуавтоматический», так как остается ручное управление механизмами, непосредственно не задействованными в процессе дозирования.

Следующий уровень. В управляющий контроллер устанавливаются дополнительные платы автоматики, вносятся дополнения в прикладную программу, подключается оборудование БСУ, которое не было подключено на предыдущем этапе. Получаем полную АСУТП БСУ. Режим работы – «автоматический».

БСУ-2. На нижнем уровне три однокомпонентных тензометрических дозатора, работающих под управлением контроллеров «Мастер 110.4» и один многокомпонентный дозатор (на три компонента), работающий под управлением контроллера «Мастер 210.3». Дозаторы устанавливаются и подключаются по очереди. Контроллеры установлены в операторской, в шкафу управления, рядом с пультом управления прочими механизмами БСУ. Задание выставляет оператор с клавиатуры контроллеров. Пуск с общей кнопки, разгрузка после набора доз всеми дозаторами. Режим работы БСУ – «ручной», но с автоматическим набором точных доз.

Следующий уровень. Устанавливается компьютер с прикладной программой управления БСУ, в шкаф управления устанавливается управляющий контроллер с платами ввода/вывода, откуда будет осуществляться управление всеми механизмами БСУ. Контроллеры «Мастер» через интерфейс RS-485 также подключаются к управляющему контроллеру. Получаем полную АСУТП БСУ. Режим работы – «автоматический».

БСУ на одном предприятии может быть несколько. На каждом из них может быть установлена собственная АСУТП, как автономная, так и подключенная в единую сеть. Если необходимо, можно сделать одну общую АСУТП предприятия, с управлением от одного главного компьютера.

Более подробные сведения можно получить в ООО «НПФ ИнСАТ-СПб», <http://www.insat.ru>, (81361) 4-2302, (812) 972-0412, E-mail: spb@insat.ru, insat@online.ru

С.М.ТРЕМБИЦКИЙ, канд. техн. наук (ЗАО НТЦ “ЭТЭКА”)

Энергоэффективные режимы теплотехнологии бетона и методы их реализации

Теплотехнология бетона или производство изделий из бетона с применением тепловой обработки – это пример интенсивной промышленной технологии, в которой задачи интенсификации производства успешно решаются с помощью тепловых методов ускорения твердения бетона. Эффект от тепловой интенсификации процесса существенно превышает и окупает необходимые для этого дополнительные энергозатраты, даже фактические, для минимизации которых есть определённые технологические условия. В настоящее время энергоёмкость теплотехнологии бетона на современных российских предприятиях является неоправданно высокой, и доля её в общем тепловом балансе предприятия составляет 50 – 70% при резерве энергосбережения от 20 до 40%. Тепловой КПД заводских технологических агрегатов, морально устаревших (система централизованного пароснабжения) и новых (автономная газовая технология), составляет соответственно 20 и 50%.

Все этапы теплотехнологии бетона (приготовление бетонной смеси с подогревом воды и заполнителей, формовка с уплотнением, предварительная выдержка, разогрев бетона, изотермическая выдержка, остывание, распалубка и достижение отпускной прочности) имеют свои критерии оптимизации, направленные на создание производства по принципу “быстро, качественно, экономично”. Реализация этого принципа особенно зависит от того, насколько правильно осуществляется активный период тепловой обработки бетона – разогрев и изотермическая выдержка. Параметры разогрева бетона (температура, скорость) практически всегда переменные в зависимости от вида и характеристик энергоносителя, схемы теплоподвода и температуры окружающей среды, объёма загрузки объекта, а также наличия и качества тепловой автоматики. Параметры изотермической выдержки (температура, продолжительность) фактически не имеют строгого обоснования и объективного контроля. Поэтому применяемые в настоящее время режимы активной тепловой обработки, как правило, не являются оптимальными как технологически (по уровню необходимой и достаточной прочности), так и энергетически (по уровню минимально необходимых энергозатрат).

Применяемые в настоящее время средства тепловой автоматики, выполняющие жёсткую программу соблюдения заданных параметров скорости и температуры разогрева греющей среды и времени изотермической выдержки, не дают информации о физическом состоянии бетона и, следовательно, не способны выдерживать объективно необходимые параметры активного периода тепловой обработки бетона.

Режим термообработки бетона считается энергоэффективным, если время активного теплового воздействия ограничивается зоной твердения бетона с максимальной скоростью или прочностью на уровне примерно 30 % от марки. Режим активного периода тепловой обработки, обеспечивающий минимально необходимую структурную зрелость бетона ($30\%R_M$), может быть различным по соотношению τ_p и $\tau_{из}$ и по суммарному времени активного цикла $\tau_{ц} = \tau_p + \tau_{из}$ (рис.1).

Чем выше скорость разогрева до заданной температуры (рис.1, а) или чем выше температура разогрева бетона при заданной скорости (рис.1, б), тем интенсивнее идёт процесс твердения и рост прочности и меньше время активного цикла. Одно и то же физическое состояние материала, оцениваемое постоянным значением градусочасов (Q), достигается в зависимости от режима за различное время и при различных энергозатратах. Цена интенсификации процесса и повышения производственной эффективности – увеличение тепловой мощности (рис.1, а) или удельной и агрегатной энергоёмкости (рис.1, б).

Полученные в итоге параметры активного периода тепловой обработки изделий (температура и скорость разогрева среды и бетона, количество сообщённых бетону градусочасов), обеспечивающие требуемые характеристики бетона на ранней стадии твердения при минимально необходимых энергозатратах, могут быть положены в основу задания на разработку системы технологического теплоснабжения и её автоматизации.

Результирующим параметром температурного контроля является оценка полученных бетоном градусочасов, которая может служить объективным сигналом завершения активного периода термообработки и прекращения энергопотребления. Экспериментально полученная оценка необходимого и достаточного количества градусочасов, сообщённых бетону сверх температуры 20°C за время разогрева и изотермической выдержки, зависит от группы активности цемента и приведена в табл. 1.

Таблица 1

Количество градусочасов, сообщённых бетону, необходимое и достаточное для последующего твердения без энергопотребления в режиме термоса

Группа активности цемента по коэффициенту при пропаривании, Кп	1	2	3
	Кп>0,71	Кп=0,55–0,70	Кп<0,54
Количество градусочасов Q, $^{\circ}\text{C} \times \text{ч}$	150	200	250

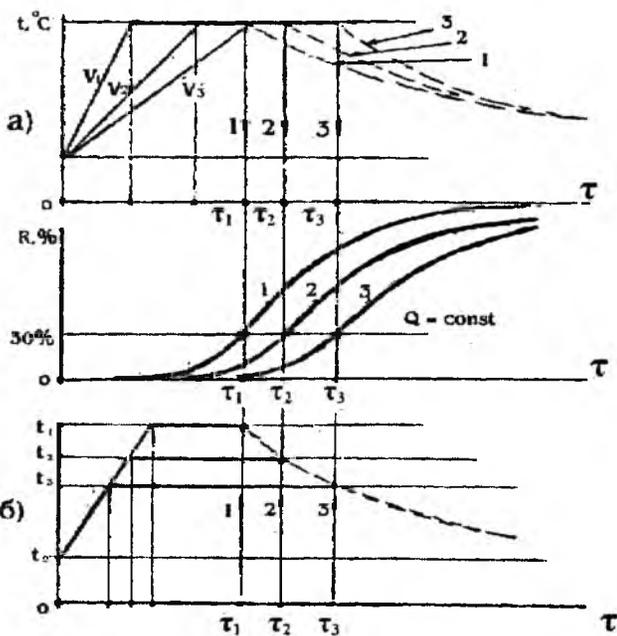


Рис.1. Тепловые режимы (1, 2, 3) активного цикла тепловой обработки бетона

а – разогрев с разной скоростью (V_1, V_2, V_3) до температуры $t, ^\circ\text{C}$; б – разогрев со скоростью V до разной температуры (t_1, t_2, t_3); $R, \%$ – прочность бетона; Q – градусочасы, $^\circ\text{C}\cdot\text{ч}$; τ – время активного цикла

В основе новой системы автоматического контроля и регулирования, призванной реализовать энергоэффективные режимы в теплотехнологии бетона, лежит программа для ЭВМ, которая по данным контроля температуры среды или опалубки выдаёт оценку изменения во времени:

- средней температуры бетона, $^\circ\text{C}$;
- средней прочности бетона, $\%R_m$;

- количества получаемых бетоном градусочасов, $^\circ\text{C}\cdot\text{ч}$;

а также вычисляет минимально необходимое по заданию (табл.1) количество градусочасов, при достижении которого система даёт сигнал на прекращение подачи энергоносителя.

В таком исполнении система автоматизации полностью выполняет свои функции по оптимизации теплотехнологии бетона, обеспечивая комплексную энерго-технологическую эффективность по достигаемому соответствию между требуемой прочностью бетона и необходимыми энергозатратами.

Аналитические зависимости оценки прочности бетона в функции времени и его температуры, полученные на основе статистических изотермических графиков твердения бетона М200 на портландцементе М300 (рис.2), имеют следующий вид:

а) для интервала 0-24 ч

$$R_{(\tau, t)} = [0,7\tau + (0,2 + 0,03\tau) \cdot (t_6 - 20)] \cdot K_M, \%$$

б) для интервала 24-72 ч

$$R_{(\tau, t)} = [17 + 0,55(\tau - 24) + 1,3(t_6 - 20)] \cdot K_M, \%$$
 или

$$R_{(\tau, t)} = [(30 + 0,4\tau) \cdot \frac{L_{gr}\tau}{2,83} + 1,3(t_6 - 20)] \cdot K_M, \%$$

где $t_6 = \frac{t_H + t_C \cdot a\tau / \delta^2}{1 + a\tau / \delta^2}$ — оценка температуры бетона при

конвективном нагреве, $^\circ\text{C}$, в среде с относительной влажностью 60-70 %; t_H – начальная температура бетона, $^\circ\text{C}$; t_C – температура среды в тепловой установке, $^\circ\text{C}$; $t_6 = t_{on} + 1,3(t_{on} - t_B)$ – оценка температуры бетона по температуре опалубки (t_{on}) и температуре наружного воздуха (t_B), $^\circ\text{C}$; τ – время, прошедшее от начала прогрева бетона, ч; $a = \lambda / C \cdot \gamma$ – коэффициент температуропроводности бетона, $\text{м}^2/\text{ч}$; λ – коэффициент удельной теплопроводности бетона, $\text{Ккал}/\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$; C – удельная теплоёмкость бетона, $\text{Ккал}/\text{кг}\cdot\text{град}$; γ – удельная масса бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$; δ – толщина бетона в зоне контроля температуры ($\delta = S/2$, где S – толщина изделия или слоя, м); 20 – температура нормального твердения бетона, $^\circ\text{C}$; K_M – коэффициент, учитывающий марку бетона (рис.3).

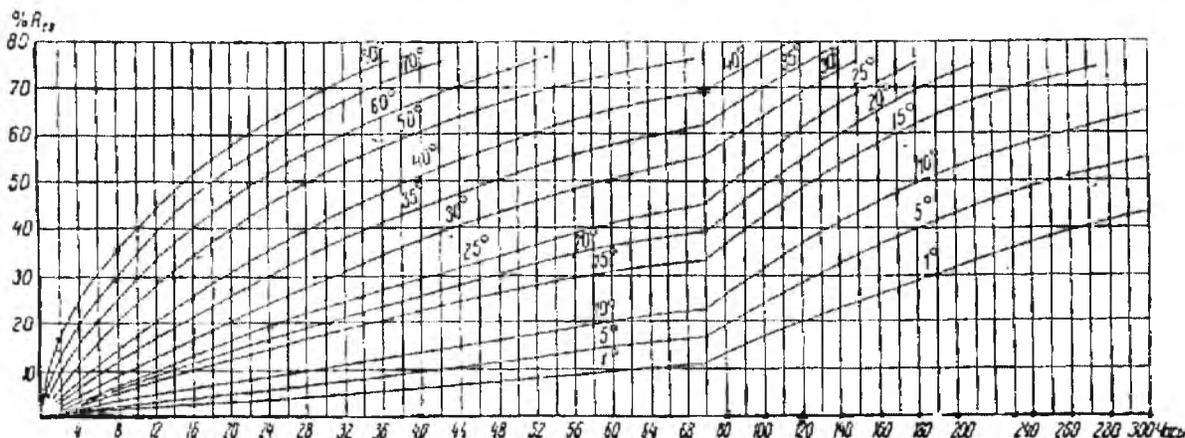


Рис.2. Графики изменения прочности бетона В15 (М200) на портландцементе М300 в % от марочной прочности при различной температуре выдерживания

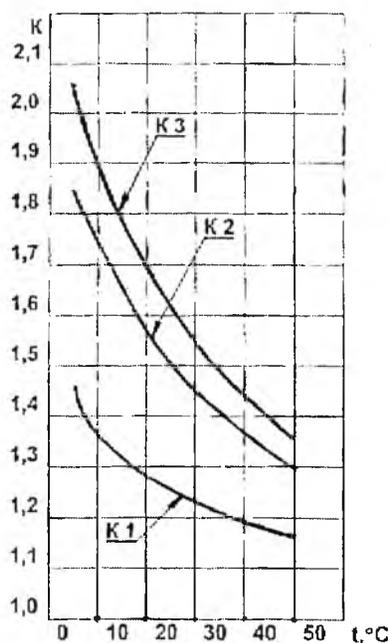


Рис.3. Коэффициенты увеличения относительной прочности бетона, оцененной по графикам её роста при различной температуре для бетона М200 на портландцементе М300

К1 – для бетона М200-300 и ПЦ 400; К2 – для бетона М400 и ПЦ 500; К3 – для бетона М500 и ПЦ 600 (цементы алитовые, среднеалюминатные, Q45)

Рассмотренная методика реализации энергосберегающих режимов термообработки железобетонных изделий и конструкций позволит повысить эффективность любого применяемого в настоящее время способа теплового ускорения твердения бетона.

Условно полезная тепловая энергия, расходуемая при разогреве тяжёлого бетона с начальной температурой 20⁰С до температуры 60-80⁰С и с удельной массой формовочной оснастки 1,5 т/м³, составляет 0,03-0,05 Гкал/м³.

Показатели эффективности известных способов тепловой обработки бетона, рассчитанные по отношению к указанному выше условно полезному расходу тепловой энергии, приведены в табл.2.

Из рассмотренных способов тепловой обработки бетона практическое предпочтение по энергетической эффективности имеют автономные беспаровые систе-

Способы тепловой обработки бетона	Характеристики способов		
	Тепловой КПД, средний, периода разогрева	Расход энергии удельный	Расход топлива удельный, кг в. т. м ³
Электроразогрев бетонной смеси	0,90	40 кВт.ч/м ³	12,8
Электрообогрев изделий в камерах	0,70	70 кВт.ч/м ³	22,4
Тепловая обработка в среде продуктов сгорания газа	0,40	15 Нм ³ /м ³	17
Тепловая обработка с применением жидкотопливных теплогенераторов	0,30	15 кг/м ³	20
Паропрогрев централизованный:			
• фактический	0,10	0,3 Гкал/м ³	50
• нормативный	0,20	0,2 Гкал/м ³	35
Паропрогрев автономный (газ → пар)	0,30	0,15 Гкал/м ³	25

мы с первичным энергоносителем в виде электроэнергии или газа.

Однако независимо от способа теплоподвода и системы теплоснабжения тепловых агрегатов режимы тепловой обработки изделий в них должны соответствовать критериям энергоэффективности, согласно которым определяется и автоматически поддерживается минимальная продолжительность активного периода тепловой обработки, связанного с энергопотреблением. Одним из таких критериев ограничения технологического энергопотребления является прочность бетона на уровне около 30-40% R_m , которой соответствует определённая, зависящая от группы цемента, величина переданных бетону градусочасов и после достижения которой процесс твердения при медленном остывании но сит цепной характер, независимый от внешнего теплового воздействия.

Уважаемые читатели!

С 1 апреля началась подписка на журнал "БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН" на второе полугодие 2005 г.

Сведения о подписке содержатся в Объединенном каталоге (он зеленого цвета) "Пресса России".

Подписной индекс 70050.

Подписка принимается во всех отделениях связи без ограничений.

Тел. для справок 692-6205, 703-9762.

А.Д.БЕГЛОВ, канд. техн. наук, Р.С.САНЖАРОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф. (С.-Петербургский государственный ун-т строительства и архитектуры); В.М.БОНДАРЕНКО д-р техн. наук, проф. академик РААСН (МИКХиС)

Ползучесть бетона и модели евростандартов

Большинство уравнений ползучести бетона, предложенных к настоящему времени, рассматривают его мгновенные упругие свойства. Обосновывается это обстоятельство не совсем удачным утверждением о том, что в экспериментах мгновенные деформации бетона даже при высоких уровнях загрузений линейно зависят от напряжений. Такая аргументация, а также сложная математическая запись нелинейных деформаций сдерживали внедрение их в научные разработки по железобетону.

Бондаренко В.М. и Бондаренко С.В. впервые предложили нелинейное интегральное уравнение ползучести бетона в области высоких напряжений, показав при этом математические трудности применения его для прикладных задач [1].

В данной статье излагается разработанный авторами и их учениками эффективный метод совместного учета мгновенных нелинейных деформаций и деформаций нелинейной ползучести. Он позволяет использовать модели Евростандартов, аналитические зависимости ползучести бетона, обоснованные известными фундаментальными трудами отечественных ученых – экспериментаторов, записывать основное уравнение ползучести в дифференциальной форме, а также решать прикладные задачи. Использование общеизвестных гипотез теории ползучести в дальнейшем специально не подчеркивается ввиду традиционной формы записи интегральных уравнений; две дополнительные идеи рассматриваются подробно.

Уравнение Евростандартов [2] для кратковременного нелинейного деформирования бетона записываем в виде обратной функции, что удобно сделать, например, с помощью ряда Лагранжа

$$\varepsilon_b = f_2(\sigma_b) = B_1\sigma_b + B_2\sigma_b^2 + B_3\sigma_b^3 + B_4\sigma_b^4 + \dots, \quad (1)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{1}{E_b}; \quad B_2 = \frac{E_b \left(\frac{E_b}{R_b} - \frac{2}{\varepsilon_{b0}} \right) + \frac{R_b}{\varepsilon_{b0}^2}}{E_b^3}, \text{ и т.д.}$$

Если константы $E_b(t)$, $\varepsilon_{b0}(t)$, $R_b(t)$ изменяются с течением времени, то переменными являются и коэффициенты $B_j(t)$.

Введем в рассмотрение функцию нелинейности (первая идея)

$$\Phi(\sigma_b, t) = \varepsilon_b E_b = f_2(\sigma_b, t) E_b(t) =$$

$$= \sigma_b + b_2(t)\sigma_b^2 + b_3(t)\sigma_b^3 + b_4(t)\sigma_b^4, \quad (2)$$

ограничившись для краткости записи четырьмя слагаемыми.

В интегральном уравнении новая переменная Φ требует масштабирования меры ползучести $C_\Phi(t, \tau)$, удовлетворяющего следующему соотношению, очевидно вытекающему из условия равенства деформаций ползучести (линейной и нелинейной)

$$\Phi(\sigma_b, t) C_\Phi(t, \tau) = \sigma_b(t) C(t, \tau);$$

$$f[\Phi(\sigma_b, t)] C_\Phi(t, \tau) = f[\sigma_b(t)] C(t, \tau),$$

где $C(t, \tau)$ - традиционная мера ползучести.

Вторая идея заключается в использовании при режимных загрузениях понятия условного времени, предложенного Будановым Н.А. и усовершенствованного Ржаницыным А.Р. (ниже будут приведены также уравнения ползучести, построенные без второй идеи) для некоторых типов задач.

Условное время является новой переменной, связанной с обычным временем t уравнениями

$$z(t) = \frac{ae^{\alpha t} - a}{(b+t)^p}; \quad \Theta(\tau) = \frac{ae^{\alpha \tau} - a}{(b+\tau)^p}, \quad (3)$$

где a, α, p - константы; постоянная b вводится для смягчения сингулярности ядра и имеет размерность времени.

В [5] показано, что при удачном выборе условного времени мера ползучести в форме Арутюняна Н.Х., Бондаренко В.М., Щербакова Е.Н.

$$C_\Phi(z, \Theta) = C_\Phi(28) \left[C_\Phi + q_\Phi e^{-\gamma_\Phi \Theta} \right] \left[1 - k_\Phi e^{-\gamma_\Phi (z-\Theta)} \right] \quad (4)$$

в возрасте до 720 суток дает близкие результаты с мерами ползучести Евростандартов и Александровского С.В., учитывающими быстронатекающую ползучесть.

Форма (3) более удобна для практических расчетов; наши ученики пришли к выводу, что мера ползучести Александровского С.В. приводит к дифференциальному уравнению пятого порядка и к усложнениям практических методик. Например, построение метода изохронных кривых приводит к необходимости исследования девяти независимых между собой режимов загрузения.

Основное интегральное уравнение нелинейной ползучести записываем в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_b(z) = & \frac{\Phi[\sigma_b, z]}{E_b(z)} - \int_{z_0}^z \Phi[\sigma_b, \Theta] \frac{\partial}{\partial \Theta} \frac{1}{E_b(\Theta)} d\Theta - \\ & - \int_{z_0}^z f[\sigma_b, \Theta] \frac{\partial}{\partial \Theta} C(z, \Theta) d\Theta, \end{aligned} \quad (5)$$

где f - известная функция нелинейной ползучести.

Его удается свести к дифференциальной форме

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_b(z) + \gamma_\Phi \dot{\varepsilon}_b(z) = & \dot{\sigma}_b(z) \frac{1}{E_b(z)} \frac{\partial \Phi[\sigma_b, z]}{\partial \sigma_b(z)} + \\ & + \dot{\sigma}_b^2(z) \frac{1}{E_b(z)} \frac{\partial^2 \Phi[\sigma_b, z]}{\partial \sigma_b^2(z)} + \\ & + \dot{\sigma}_b(z) \left\{ \frac{1}{E_b(z)} \cdot 2 \frac{\partial^2 \Phi[\sigma_b, z]}{\partial \sigma_b \partial z} + \frac{\partial \Phi[\sigma_b, z]}{\partial \sigma_b(z)} \left[\frac{\gamma_\Phi}{E_b(z)} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{E_b(z)}{E_b^2(z)} + \frac{\partial f[\Phi]}{\partial \Phi} \cdot c_\Phi(28) \gamma_\Phi (k_\Phi c_\Phi + g_\Phi e^{-\gamma_\Phi z}) \right] \right\} + \\ & + \frac{1}{E_b(z)} \frac{\partial^2 \Phi[\sigma_b, z]}{\partial z^2} + \frac{\partial \Phi[\sigma_b, z]}{\partial z}. \end{aligned}$$

$$\left[\frac{\gamma_\Phi}{E_b(z)} - \frac{E_b(z)}{E_b^2(z)} + \frac{\partial f[\Phi]}{\partial \Phi} \cdot c_\Phi(28) \gamma_\Phi (k_\Phi c_\Phi + g_\Phi e^{-\gamma_\Phi z}) \right]. \quad (6)$$

Переход от переменной z к t осуществляем с помощью (4).

Если использовать обычное время и принять параметры в диаграмме Евростандартов не зависящими от времени, то основной закон ползучести упрощается

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}_b \frac{d\Phi(\sigma_b)}{d\sigma_b} + \dot{\sigma}_b^2 \frac{d^2\Phi(\sigma_b)}{d\sigma_b^2} + \dot{\sigma}_b \left[\gamma_\Phi \frac{d\Phi(\sigma_b)}{d\sigma_b} + \right. \\ \left. + \gamma_\Phi E_b \left(C_0^\Phi + \frac{A_\Phi}{t} \right) \frac{df}{d\Phi} \frac{d\Phi(\sigma_b)}{d\sigma_b} \right] = \dot{\varepsilon}_b E_b + \varepsilon_b \gamma E_b, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{где } C_0^\Phi = C_0 \frac{f(\sigma_b)}{f(\Phi)}; \quad A_\Phi = A \frac{f(\sigma_b)}{f(\Phi)}.$$

Для стареющего бетона уравнение ползучести имеет первый порядок

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_b(t) + \gamma_\Phi \varepsilon_b(t) = & \frac{1}{E_b} (1 + 2b_2 \sigma_b + 3b_3 \sigma_b^2 + 4b_4 \sigma_b^3) \dot{\sigma}_b(t) + \\ & + \gamma_\Phi \frac{1}{E_b} (\sigma_b + b_2 \sigma_b^2 + b_3 \sigma_b^3 + b_4 \sigma_b^4) + \\ & + C_0^\Phi \gamma_\Phi f(\sigma_b + b_2 \sigma_b^2 + b_3 \sigma_b^3 + b_4 \sigma_b^4) \end{aligned} \quad (8)$$

С целью упрощения в функции нелинейной ползучести можно ограничиться рассмотрением двух первых степеней

$$f(\Phi) = \sigma_b + (b_2 + \beta) \sigma_b^2; \quad \frac{df}{d\Phi} = 1 + 2\beta \sigma_b + 2\beta b_2 \sigma_b^2,$$

где β - коэффициент в функции Арутюняна Н.Х.

В рамках гипотез теории старения бетона основное уравнение ползучести запишем в виде

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_b(t) = & \frac{1}{E_b(t)} \left[\frac{\partial \Phi[\sigma_b, t]}{\partial \sigma_b(t)} \dot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial \Phi[\sigma_b, t]}{\partial t} \right] + \\ & + \frac{\partial f[\Phi(\sigma_b, t)]}{\partial \Phi} \varphi_t^\Phi \alpha_\Phi \left[\frac{\partial \Phi[\sigma_b, t]}{\partial \sigma_b(t)} \dot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial \Phi[\sigma_b, t]}{\partial t} \right] + \\ & + \frac{1}{E_{b0}} \cdot \varphi_t^\Phi f[\Phi(\sigma_b, t)], \end{aligned} \quad (9)$$

где функция φ_t^Φ - характеристика ползучести бетона; α_Φ - коэффициент Лившица Я.Д.

Полученные уравнения ползучести применимы при возрастающих напряжениях. При убывающих напряжениях разгрузка происходит по линейному закону с модулем E_b ; дифференциальное уравнение ползучести приобретает известный вид. Например, для случая (8) в понятии обычного времени имеем

$$\dot{\varepsilon}(t) + \gamma \varepsilon(t) = \frac{\dot{\sigma}(t)}{E_b} + \gamma \frac{\sigma_b}{E_b} + C_0^\Phi f(\sigma_b).$$

Это обстоятельство необходимо учитывать при ступенчатых и режимных нагружениях.

Полученные уравнения ползучести позволяют строго решать задачи о напряженно-деформированном состоянии различных сечений железобетонных элементов при длительном нагружении.

В следующей статье мы покажем применение третьей идеи, позволяющей построить новую модель расчета сечений при ползучести, у которой разрешающая система дифференциальных уравнений имеет третий порядок; при кратковременном нагружении разрешающая система имеет второй порядок. Таким способом устраняется традиционное противоречие в расчетах сечений: нелинейность деформирования при мгновенном нагружении; линейность мгновенного деформирования при ползучести. Последнее является важным при чередовании мгновенного и длительного нагружений железобетонных конструкций.

Библиографический список

1. Бондаренко В.М. Диалектика механики железобетона// Бетон и железобетон. - №1. - 2002. - с.24-27.
2. СЕВ-FIP MODEL CODE, 1990.
3. Буданов Н.А. Влияние ползучести бетона на работу железобетонных арок. - Сообщение ДИСИ, №30, 1940. - 160 с.
4. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. - М., Стройиздат, 1968. - 416 с.
5. Прокопович И.Е., Щербаков Е.Н. О концепции приведенного времени в уравнениях семейства кривых ползучести бетона//Бетон и железобетон. - 1995. - №6. - с.19-24.



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Лицензия Госстандарта РФ
на изготовление средств
измерений №000110-ИР

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 Кс, 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 (B-II), К-7 методом поперечной оттяжки по ГОСТ 22362. Диаметр контролируемой арматуры.....3...5 (6...9) мм

ЭИН-МГ4

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



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 трехканальный с режимом самописца (до 15 суток). Диапазон измерения: плотности тепловых потоков.....2...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

Измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры в ЖБ конструкциях по ГОСТ 22904. Диапазон измерения защитного слоя 3...100 мм при диаметре стержней 12...40 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 режимом самописца (до 24 часов). Диапазоны измерения: скорости потока.....0,4...30 м/с, температуры.....-20...+100°C

Вибротест - МГ4+

Измеритель, виброскорости, виброускорения, амплитуды и частоты колебаний виброустановок и др. объектов с режимом самописца (до 25 часов). Диапазон измерения: частоты.....2...1000 Гц, амплитуды.....0,01...20 мм



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 (3512) 90-16-13, 90-16-85, в Москве (095) 964-95-63, 220-38-58 e-mail stroypribor@chel.surnet.ru http://www.stroypribor.ru

Новая книга об усилении железобетонных конструкций

Шилин А.А., Пшеничный В.А., Каргузов Д.В. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами. Научное издание. – М.: Стройиздат, 2004 – 144 с. с иллюстрациями.

Впервые в отечественной практике выпущена книга по усилению железобетонных конструкций композиционными материалами нового поколения. Рассмотрены основы проектирования и технология усиления железобетонных конструкций современными композиционными материалами на основе углеродных, арамидных и стекловолокон.

Изложены основные преимущества применения композиционных материалов для усиления железобетонных конструкций по сравнению с другими способами усиления. Даны базовые положения по проектированию усиления изгибаемых железобетонных конструкций по первой и второй группам предельных состоя-

ний. Приведена технология усиления различных железобетонных конструкций. Освещены вопросы качества, требования к исходным материалам и условиям проведения работ, а также даны рекомендации по мониторингу усиливаемых конструкций.

Проанализирован зарубежный и отечественный опыт работы по усилению элементов различных сооружений композиционными материалами, в том числе накопленный авторами. Даны примеры усиления различных железобетонных сооружений.

Книга предназначена для специалистов в области проектирования, ремонта и реконструкции зданий и инженерных сооружений.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в ЗАО «Триада-Холдинг» по телефонам: 946-32-76; 946-33-92; e-mail: trhold@comail.ru

Книга о гидроизоляции подземных сооружений

Шилин А.А., Зайцев М.В., Золотарев И.А., Ляпидевская О.Б. Гидроизоляция подземных и заглубленных сооружений при строительстве и ремонте: Учебн. пособие. – Тверь: Изд-во «Русская торговая марка», 2003. – 398 с.: 110 ил.

Настоящая книга является единственным в данной области учебным пособием, в котором вопросы гидроизоляции рассматриваются как комплексная проблема защиты подземных и заглубленных зданий и сооружений. Впервые осуществлен системный подход к гидроизоляции, основанный на решении задач по созданию гидроизоляционной мембраны, теплоизоляции, дренажа, вентиляции сооружений.

В книге изложены основы проектирования и создания системы гидроизоляционной защиты сооружений при их строительстве и ремонте, приводятся методики расчета различных систем гидроизоляции, систематизированы и описаны новые материалы, технические и технологические решения по выполнению гидроизоляционных работ подземных и заглубленных объектов строительного комплекса. Приведены многочисленные

примеры производства работ в различных сооружениях. Пособие иллюстрировано чертежами, схемами, рисунками, позволяющими наглядно представить решение различных технологических задач по гидроизоляции зданий и сооружений.

Уникальность книги состоит в том, что она основана на многолетних научных исследованиях ведущих сотрудников «Триады-Холдинг» и богатейшем опыте фирмы в области строительства и ремонта огромного числа крупных подземных сооружений различного назначения (более 1000!). Таким образом, настоящее пособие представляет собой законченный фундаментальный труд, в котором соединены теоретические основы защиты сооружений от воды и влаги с их практическим решением.

Представляемая книга будет интересна и полезна всем специалистам в области проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта зданий и сооружений.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в ЗАО «Триада-Холдинг» по телефонам: 946-32-76; 946-33-92; e-mail: trhold@comail.ru

Редакционная коллегия: Ю.М.Баженов, В.Г.Батраков, В.М.Бондаренко, Ю.С.Волков, В.В.Гранев, В.Г.Довжик, А.И.Звездов, Б.И.Кормилицин, К.В.Михайлов, В.А.Рахманов, И.Ф.Руденко, Р.Л.Серых (главный редактор), А.Г.Тамразян, В.Р.Фаликман, Ю.Г.Хаутин, А.А.Шлыков (зам.главного редактора), Е.Н.Щербаков

Подписано в печать 05.04.05. Формат 60x88¹/₈. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1
Усл.печ.л. 4,0 Заказ № 42 2

Адрес редакции
Москва, Георгиевский пер., д.1, строение 3, 3-й этаж

E-mail: magbeton@rambler.ru
Тел. 692-6205, 703-9762

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

Группа СЛК

ХИМИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ

• СТОЙКОБЕЗРАСТРУЖКАТОР С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3

• АНТИМОРОЗНЫЕ ДОБАВКИ С-3М-15 И С-3Р2

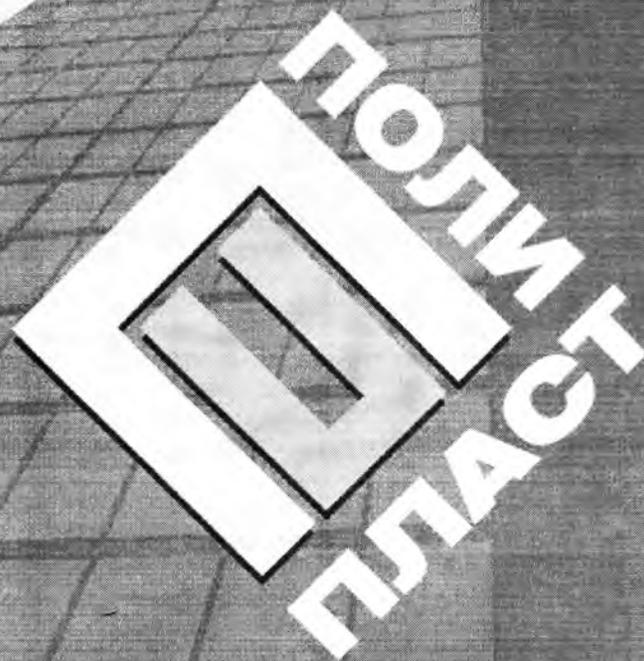
• ДИСПЕРГАНТ С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3

• ПЛАСТИФИКАТОР С-3 ЭФФЕКТОР

ПОДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА ДЕФОРМАЦИИ



Мы увеличиваем прочность Вашего бизнеса!

ООО «ПОЛИПЛАСТ»
115114, Москва,
Кожуховский проезд, д. 3
Тел./факс: (095) 580-70-83, 580-70-84
E-mail: secretar@polyplast-ua.ru
www.polyplast-ua.ru

ООО «ПОЛИПЛАСТ НОВОМОСКОВСК»
301653, Тульская обл.,
г. Новомосковск,
Космонавтовское ш., д. 72
Тел./факс: (08762) 7-64-65, 7-64-72, 7-65-27
E-mail: polyplast@pplast.novomoskovsk.ru
www.novomoskovsk.polyplast-ua.ru

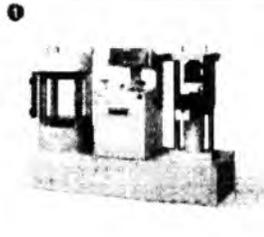
ООО «ПОЛИПЛАСТ СЕВЕРО-ЗАПАД»
180430, Ленинградская обл.,
г. Кинешема, пр. «Асфальтобетон»
Тел.: (812) 9266397, (81275) 95-239
E-mail: polyplast-ua@mail.ru
www.severozapad.polyplast-ua.ru

ООО «ПОЛИПЛАСТ УРАЛСИБ»
623109, Свердловская обл.,
г. Первоуральск, ул. Заводская, д. 3
Тел. (34392) 9-37-07, 9-11-35
Тел./факс (34392) 9-19-42
E-mail: polyplast-ua@pervouralsk.ru
www.ural-sib.polyplast-ua.ru



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 свойства бетонных и растворных смесей, бетонов, строительных растворов, вяжущих и других строительных материалов.

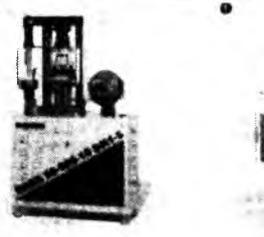
**УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ И ИЗГИБ
БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИЗМ ИЗ ЦЕМЕНТНОГО СОСТАВА**



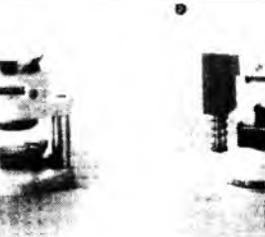
BETA 5/DELTA 4
Ручное управление, цифровой дисплей



ALPHA 3-300 S
Автоматическое управление, цифровой дисплей, возможность определения относительной деформации



MEGA 20-200-10 DM 1-S
Комбинированная установка с автоматическим управлением



DV 600 AZ
Установка для определения прочности при сжатии; максимальная нагрузка 600 кН



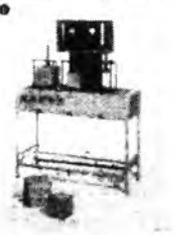
DV 10 OM
Установка для определения прочности при изгибе; максимальная нагрузка 10 кН

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 \varnothing 150 и 200 мм



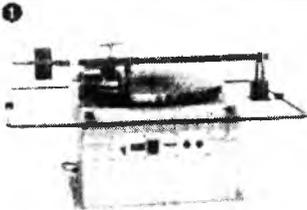
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УСАДКИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ И ВЕРТИКАЛЬНОМ ИСПОЛНЕНИИ



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



ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ИСТИРАНИЕ



Круг истирания Беме, размеры 890x760x890мм масса 500 кг. 3/380 В

Прибор с истирающим кругом из специальной стали и прямым приводом от редукционного мотора
Размеры 720x550x1000 мм
Масса 150 кг. 3x380 В



ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ И СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО И ГИПСОВОГО ТЕСТА УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДОБООКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ



Прибор Вика с иглой и пестиком
D_{игла} = 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



Триада - Холдинг

Россия, 123308, Москва, пр-т Маршала Жукова, дом 6, стр. 2.
Тел. (095) 234-16-10, 956-15-04, 956-18-52 Факс (095) 234-38-84
E-mail: trhold@comail.ru www.triada-holding.ru