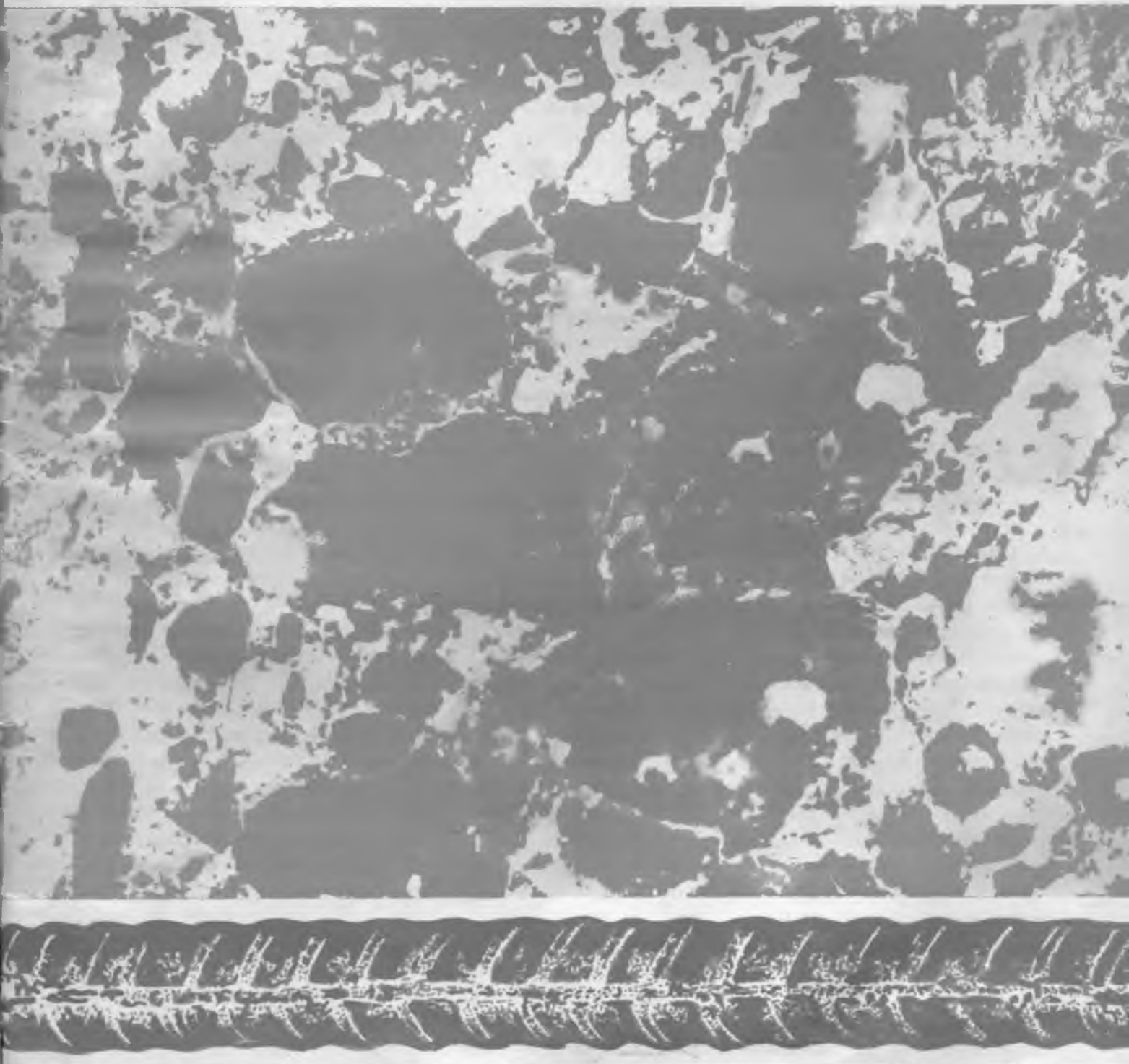
ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

6
1998



Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ЭВМ-программа для экономии стали при производстве железобетонных конструкций

В НПКТБ ОПТИМИЗАЦИЯ разработана ЭВМ-программа, позволяющая существенно экономить сталь при производстве сборных железобетонных конструкций на заводах ЖБИ. В статье описаны возможности программы и опыт ее использования на Московском заводе Мосинжжелезобетон.

Программа предназначена для следующих целей:

1. Введения и упорядочения данных об альбомах чертежей, о железобетонных конструкциях, входящих в альбомы, и об арматурных изделиях, входящих в железобетонные конструкции, включая чертежи арматурных изделий.

2. Оперативного изменения перечисленных выше данных.

3. Вывода данных на печать и использования их в качестве документации для работы завода.

4. Оптимизации замен арматуры, позволяющей добиться минимума расхода металла при ограниченности его номенклатуры.

5. Оптимизации раскроя арматуры, позволяющей добиться минимума расхода металла при заданных длинах заготовок, длинах и количестве требуемых арматурных стержней.

6. Автоматического получения "Карточки железобетонной конструкции" для каждой железобетонной конструкции, выпускаемой заводом. Карточка содержит все сведения о конструкции (расходы металла и бетона, разбивку металла по видам, классам и диаметрам, произвольную информацию о конструкции).

7. Автоматического подсчета потребности металла, необходимого для изготовления заданного объема железобетонных конструкций, с разбивкой по видам, классам и диаметрам.

Программа состоит из следующих основных модулей: Данные, Замены, Раскрои, Документация. Опишем функции и возможности каждого из модулей.

Модуль "Данные" содержит базы данных, включающие информацию о всех конструкциях, выпускаемых заводом. Базы построены по иерархической системе.

На первом (верхнем) уровне находятся группы (альбомы чертежей) железобетонных конструкций, выпускаемых заводом. На втором уровне находятся конструкции, входящие в группу. Для каждой конструкции заполняются базы данных с информацией о классе бетона конструкции, его объеме, а также со спецификациями арматурных изделий и закладных деталей, входящих в конструкцию.

На третьем уровне находятся арматурные изделия и закладные детали. Они также классифицированы по группам: каждая группа арматурных изделий и закладных деталей относится к определенному альбому. Эта база включает спецификации элементов каждого арматурного изделия, а также чертежи, вводимые и корректируемые графическим редактором программы.

На четвертом (нижнем) уровне иерархической системы находится база данных сталей, используемых в арматурных изделиях и закладных деталях.

Модуль "Замены" используется для оптимизации замен арматуры. Задача ставится следующим образом. Пусть на заводе присутствуют в ограниченном количестве (или вовсе отсутствуют) один или несколько типов металла, необходимых для изготовления арматурных изделий, предусмотренных в чертежах. Однако арматурные изделия, для изготовления которых не хватает металла, могут быть изготовлены из другого металла, имеющегося на заводе. Решение задачи оптимизации позволяет изготовить необходимые арматурные изделия из имеющегося в наличии металла таким образом, чтобы общий его расход оказался минимальным.

Для решения задачи оптимизации необходимо иметь следующие исходные данные:

количество железобетонных конструкций, которые необходимо изготовить;

вид и массу дефицитного металла;

разрешенные виды замен (какой вид металла на какой можно заменять).

Чтобы выполнить оптимизацию, в базу данных арматурных изделий заранее вводятся арматурные изделия, которые могут заменить соответствующие исходные арматурные изделия. Для того чтобы установить соответствие между заменяемыми (исходными) и заменяющими изделиями, используются следующие обозначения. Заменяющее изделие обозначается так же, как и заменяемое, но добавляется звездочка и номер заменяющего изделия. Например, пусть заменяемые изделия имеют наименования К–1, С–15 и т.д. Тогда заменяющие изделия имеют наименования К–1*1, К–1*2... С–15*1, С–15*2 и т.д. Все изделия, наименования которых начинаются с одного и того же исходного изделия, взаимозаменяемы. Как исходные, так и заменяющие изделия удовлетворяют всем требованиям норм проектирования.

В результате решения задачи оптимизации замен программа показывает, в каких конструкциях основные арматурные изделия необходимо заменить, и какие именно из всех возможных заменяющих изделий нужно использовать в данном конкретном случае. Таким образом, программа автоматически производит конструирова-

(Окончание см. на 3-й стр. обложки)

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

6 (495)
Декабрь 1998

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:
НИИЖБ, ВНИИжелезобетон, АК "Полимод"

СОДЕРЖАНИЕ

Конструкции

МИХАЙЛОВ В.В. Колонны нового типа для одноэтажных зданий с плитами покрытия на пролет 2

Бетоны

БАБАЕВ Ш.Т., БАШЛЫКОВ Н.Ф., ЮДОВИЧ Б.Э. Эффективность вяжущих низкой водопотребности и бетонов на их основе 3

ШЕЙНИН А.М.,ЭККЕЛЬ С.В. Высокопрочные бетоны для дорожных и аэродромных покрытий 7

ДВОРКИН Л.И., ДВОРКИН О.Л. Производственная адаптация расчетных составов тяжелого бетона 10

Арматура

ПАДИН О.И. Механические свойства арматурной стали, применяемой на стройках Москвы 12

В помощь проектировщику

ЗАЛЕСОВ А.С., ЧИСТЯКОВ Е.А. Расчет и конструирование монолитных каркасов с плоскими перекрытиями 14

ПЕЦОЛЬД Т.М., ЛАЗОВСКИЙ Д.Н. Расчет усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений 16

Вопросы реконструкции и восстановления

МОЙРЕР Р., ЕЗДАКОВ А.Б., ГУЗЕЕВ Е.А. Восстановление трещиностойкости железобетонного технического перекрытия 20

Долговечность

ПИРАДОВ К.А., ГУЗЕЕВ Е.А., МАМАЕВ Т.Л., ФАЛИКМАН В.Р., БАШЛЫКОВ Н.Ф. Горельефы храма Христа Спасителя из армированного бетона со структурами, гарантирующими его долговечность более 100 лет 22

ЧЕРНЯВСКИЙ В.Л. О практическом использовании адаптационных свойств бетона 24

Использование промышленных отходов

ЕСТЕМЕСОВ З.А., КУРТАЕВ А.С., ЕСТЕМЕСОВ М.З. Контактная зона мелкозернистого бетона на основе гранулированного шлака 27

В порядке обсуждения

ОЛЕХНОВИЧ К.А. Динамические возможности и потребительские качества виброформовочных устройств 30

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ. Рег. № 01080

Издательская лицензия ЛР № 020441 от 14.04.97.

Москва

Издательство литературы по строительству

© Стройиздат, журнал "Бетон и железобетон", 1998

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В.В.МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук (Владимирский государственный ун-т)

Колонны нового типа для одноэтажных зданий с плитами покрытия на пролет

Одноэтажные производственные здания и здания культурно-спортивного назначения занимают доминирующее положение (их площадь составляет около 60% общей возводимой площади). Рассматривая колонну одноэтажного здания в единстве с общим конструктивным решением, была предложена схема этих зданий, отличающаяся от типовой применением ∇ - образных колонн в виде замкнутой треугольной рамы. При этом большепролетные плиты покрытий непосредственно опираются на колонны (а.с. № 1575605 "Каркас одноэтажного производственного здания") (рис. 1). Ширина ∇ -образных колонн по верхнему элементу соответствует ширине плит 3х18 и 3х24 м. При такой схеме отсутствуют подстропильные конструкции.

В табл.1 приведены технико-экономические показатели на секцию 6х18 м одноэтажного производственного здания.

Из приведенных в табл.1 данных видно, что решение зданий с новым типом колонн экономически целесообразно.

На первом этапе были проведены экспериментально-теоретические исследования ∇ -образных колонн при центральном приложении нагрузки. Предварительно характер работы колонн исследовали методом МКЭ.

Экспериментальные исследования проводили на моделях с геометрическим масштабом 1:5. Образцы испытывали на специальном стенде с использованием механических приборов и тензометрии. Армирование моделей было принято по условиям моделирования и производилось сварными каркасами; продольную арматуру ветвей выполняли из 4 ∅ 6 А–III или 4 ∅ 8; поперечную — диаметром 3 мм.

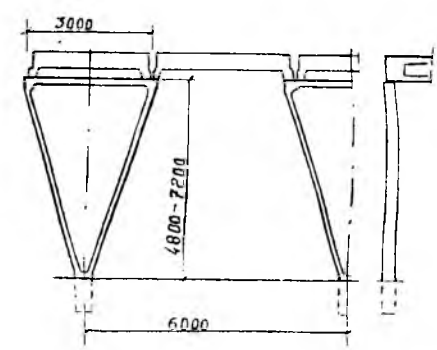


Рис. 1.Общий вид ∇ -образной колонны и схема опирания большепролетных плит покрытий

Таблица 1

Схема здания	Расход стали		Расход бетона		Затраты труда при			
	кг/м²	%	приведенная толщина, см	%	изготовлении		монтаже	
					чел. ч на 1 м²	%	чел. ч на 1 м²	%
Типовое решение (плиты 3х6 м, фермы)	7,8	100	9,9	100	0,88	100	0,36	100
С плитами 3х18 м и подстропильными балками	7,25	92	9,3	94	0,86	98	0,33	92
С ∇ -образными колоннами и плитами 3х18 м (по а.с.)	7,0	89	9,1	92	0,83	94	0,29	80

Таблица 2

Номер модели	R_b, МПа	μ, %	$N^{оп}$, кН	$N^{т}$, кН	$\frac{N^{оп}-N^{т}}{N^{т}}$	$N^{оп}$, кН	$\frac{N^{оп}-N^{сн}}{N^{сн}}$	Примечания
К1	21,1	2,02	257,0	324,0	-0,1282	322,0	-0,110	
К2	22,4	2,2	311,0	324,0	-0,040	328,0	-0,052	изменено армирование
К3	18,3	2,2	341,1	315,5	+0,017	313,0	+0,026	
К4	21,2	0,9	355,0	346,0	+0,020	344,0	+0,032	изменена геометрия верхних углов
К5	21,0	0,9	352,0	345,0	+0,019	343,5	+0,031	

Примечания: $N^{оп}$ — опытное разрушающее усилие; $N^{т}$ — теоретическая несущая способность по предложению* при опытных эксцентриситетах; $N^{сн}$ — то же, по СНиП 2.03.01-84 при опытных эксцентриситетах.

Были испытаны образцы двух типоразмеров, которые отличались сечением ветвей, ригеля и размером вутов верхних углов.

Модель К1 разрушилась по верхнему углу из-за местного разрушения бетона под опорной пластиной. Принятое увеличение толщины опорных пластин, размеров вутов сопряжения ригеля с ветвями, высоты внешней вертикальной грани узлов, а также изменение их армирования повысило прочность узлов, и разрушение остальных образцов происходило по сечению ветвей.

Опыты показали, что наибольшие продольные деформации бетона соответствуют средним значениям, полученным для тяжелого бетона (2,2 — 2,8) 10^{-3}; замкнутая форма колонны при центральном приложении нагрузки не вызывает появления существенных эксцентриситетов продольных сил в ветвях в плоскости колонны. Прогибы ветвей в плоскости колонны представлены на рис. 2.

Замеры деформаций показали, что бетон верхних узлов работает в условиях двухосного сжатия–растяжения (рис.3). Ригели колонн испытывают

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

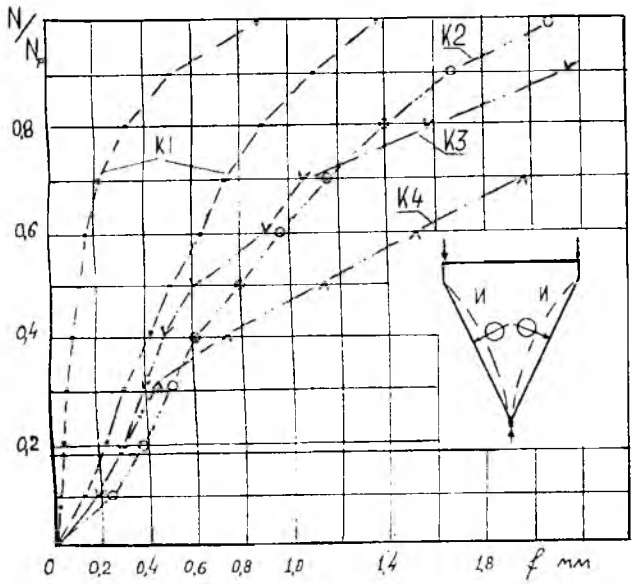


Рис. 2. Прогибы ветвей колонн в их плоскости

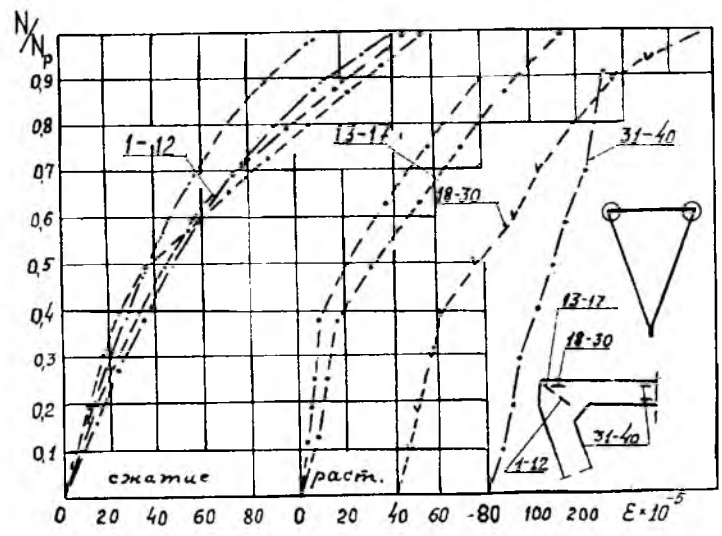


Рис. 3. Средние относительные деформации бетона верхних узлов

растяжение, наибольшие деформации составили (15–30) 10^{-5}.

Усилия в элементах ∇-образных колонн (ветвях и ригеле) при центральном приложении нагрузки можно определять как приближенно, полагая шарниры в узлах (аналогично подходу к расчету железобетонных ферм), так и используя метод МКЭ, поскольку расхождение величин усилий составляет 4–5%.

Сходимость опытных и теоретических перемещений ветвей (прогибов) в плоскости колонны по МКЭ удовлетворительная (в пределах 15%).

Сравнение опытных и теоретических разрушающих усилий в ветвях приведено в табл.2. Эксцентриситеты ветвей определяли в плоскости колонн по опытным деформациям на боковых гранях ветвей.

Сходимость теоретической и опытной несущей способности ветвей вполне удовлетворительная.

Исследования показали, что сечения ветвей ∇-образных колонн можно рассчитывать по СНиП 2.03.01-84 или по предложению*.

При конструировании верхних узлов рекомендуется принимать размеры вутов и высоту внешних вертикальных граней этих узлов не менее ширины ветвей.

---

* Михайлов В.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона. Бетон и железобетон. — №3. — 1993. — С. 26–27.

БЕТОНЫ

Ш.Т.БАБАЕВ, Н.Ф.БАШЛЫКОВ, кандидаты техн. наук (НИИЖБ); Б.Э.ЮДОВИЧ, канд. техн. наук (НИИЦемент)

Эффективность вяжущих низкой водопотребности и бетонов на их основе

Прочность и долговечность традиционного портландцементного камня и бетона на его основе лимитируются различными факторами, доминирующими из которых являются прочность структуры и тип продуктов гидратации, образующихся в твердеющем искусственном камне при условии отсутствия макродефектов в их структуре. Наиболее опасным в этой связи является наличие в цементном камне зон пониженной плотности и, следовательно, прочности, включающих гидратные фазы с крупными блоками плоскостей скольжения (крупные спаянные кристаллы портландита); гидратные новообразования с текстурой типа "карточных домиков" (гидроалюминаты кальция) и слабая адгезия между цементным камнем и заполнителем. Эти соединения по своей природе легко деформируются под нагрузкой и снижают прочность и долговечность цементного камня и бетона.

Все это является следствием высокой обводненности гидратных новообразований в цементном камне и в целом избыточной воды в бетонной смеси. Не случайно, что совместная рабочая группа "Европейского конструкторского бюро" и ФИП по бетонам в 1993 г. приняла решение о новой

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

классификации бетонов. При этом принято решение считать бетоны "высококачественными", имеющими водоцементное отношение менее 0,4.

Попытка перехода в область низких значений В/Ц в условиях традиционной технологии, даже при применении высокоэффективных поверхностно-активных веществ (ПАВ) традиционной дозировки, обычно сопровождается падением прочности бетона из-за неудовлетворительной гомогенизации перемешиваемых исходных материалов, недостижимости плотной упаковки составляющих бетонной смеси при формовании и, как следствие, наличием в структуре конечного продукта неоднородностей и дефектов.

Исходя из этого, основная задача технологии заключается в достижении в самом начале структурообразования цементных систем высокой однородности приготавливаемой смеси с минимальной вязкостью или максимальной текучестью при минимально возможном содержании дисперсионной среды (воды), близкой к теоретически необходимому. Этой воды должно быть достаточно для превращения высококонцентрированного цементного теста и бетонной смеси на ее основе в плотный, прочный и долговечный камень. Данная задача частично решается применением суперпластификаторов специального состава и строения. Эти химические добавки при их оптимальных дозировках, в зависимости от химико-минералогического состава применяемого цемента, способны снизить расход воды затворения на 20–25% при сохранении заданной консистенции цементного теста и бетонной смеси и повысить прочность цементных композиций в 1,3–1,5 раза [1].

Практикой доказано, что не всегда в полной мере удается реализовать резервы высокого пластифицирующего эффекта суперпластификаторов. В первую очередь, это связано с частичной модификацией энергетически активной поверхности частиц цемента. По мере смешивания и взаимодействия с водой за счет физико-химического диспергирования флокул и агрегатов цемента развитая поверхность этих частиц остается адсорбционно "незащищенной", что способствует их взаимодействию с дополнительной порцией дисперсионной среды. Это приводит к переходу значительной части поверхности цемента в гидраты вследствие вовлечения большого количества воды затворения в химическую реакцию, что является основной причиной интенсивной потери подвижности бетонных смесей во времени.

Следует отметить, что с целью повышения гидратационной активности цемента и эффективности его использования в бетоне необходимо:

повысить дисперсность цемента;

уменьшить толщину пленок цементного теста (с минимально допустимым водосодержанием) между зернами заполнителей, что может быть достигнуто резким снижением его вязкости и повышением заполнения объема полифракционным заполнителем;

довести до минимума объем крупных пор, являющихся концентраторами напряжений и приводящих к снижению прочностных характеристик и долговечности цементного камня и бетона.

Для достижения поставленной цели при тонком измельчении полиминеральных и полидисперсных вяжущих возникает необходимость модифицирования их гидратационно активных поверхностей таким образом, чтобы первоначально создавалась диффузионная преграда для смачивания их водой. Это может привести к значительному снижению необходимого количества воды для получения низковязких цементноводных систем, следствием чего будет максимальное сближение твердой фазы, создание условий для их диффузионного взаимодействия, синтеза мелкокристаллических гидратных новообразований, резкое повышение адгезионной прочности продуктов гидратации, снижение до минимума объема крупных пор и в целом получение цементного камня и бетона с высокой плотностью, прочностью и долговечностью.

Развитие изложенных положений привело к решению проблемы создания технологии получения целого класса вяжущих на основе портландцементного клинкера промышленного производства, обеспечивающих достижение "высококонцентрированных" и компактных структур с низкой вязкостью при относительно низком водосодержании и переход в ту область технологии получения цементных систем с заданными свойствами, которая до сих пор считалась недостижимой [2, 3]. Эти вяжущие вещества получили название "вяжущие низкой водопотребности".

Вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) представляют собой новый класс гидравлических вяжущих, отличающихся по составу и способу производства от традиционных вяжущих, получаемых с использованием традиционных помольных установок, предназначенных для производства цемента. Существенное отличие ВНВ от портландцементов заключается: в высокой дисперсности (S=4000–5000 см^2/г); низкой водопотребности (нормальная густота теста 16–20%) за счет содержания в оптимальных количествах высокоэффективного модификатора, вводимого при совместном помоле всех составляющих; в некоторых особенностях гидратационного твердения; в весьма высокой активности по прочности (до 100 МПа). Все вышеперечисленное позволяет классифицировать эти вяжущие как цементы нового поколения. Особенности производства и результаты исследования свойств ВНВ достаточно полно изложены в [4].

Оценивая возможность резкого повышения прочностных свойств цементного камня и бетона на основе ВНВ, необходимо рассмотреть эту проблему в связи с задачами научно-технического прогресса в строительной индустрии, в частности, со снижением энергоемкости производства вяжущего. Необходимо иметь в виду, что наиболее энергоемким исходным материалом в бетоне является портландцемент, на производство 1 т которого в Российской Федерации в среднем расходуется 260 кг усл. топлива, т.е. по энергоемкости доля цемента в бетоне составляет 70%. Достаточно высокие потенциальные возможности ВНВ позволяют заменить значительное количество клинкерной части вяжущего различными минеральными добавками (например, это может быть обычный строительный песок, доменный гранулированный шлак, золаунос, их смеси и др.), содержащими в своем составе преимущественно кремнезем. Это, с одной стороны, позволяет регулировать в широких пределах сроки схватывания теста на осно-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 1

Вид вяжущего	Содержание и вид минеральных добавок	Нормальная густота цементного теста, %	Сроки схватывания, час.-мин		Предел прочности при сжатии, МПа (нормальное хранение)	
			начало	конец	1 сут	28 сут
Портландцемент М 500	—	26,0	1–32	3–50	16,4	52,3
ВНВ-100	—	16,7	0–50	2–00	43,6	112,4
ВНВ-80	песок-20	17,6	1–50	3–40	40,4	104,0
	шлак-20	16,9	1–40	2–35	42,0	106,3
	зола-20	17,6	2–30	3–50	36,7	108,5
ВНВ-60	песок-40	17,9	1–45	4–30	38,2	84,0
	шлак-40	17,5	2–10	5–00	39,6	85,6
	зола-40	18,4	1–35	5–10	32,4	89,3
ВНВ-40	песок+шлак (30%+30%)	17,5	2–30	5–40	28,5	67,3
	песок+зола (30%+30%)	18,6	2–45	6–00	26,7	68,5
	шлак+зола (30%+30%)	18,0	1–35	5–10	24,8	72,6

ве комплексного вяжущего, а с другой — существенно снизить общие теплоэнергетические затраты на изготовление единицы продукции при одновременном обеспечении их заданных свойств.

В табл.1 представлены основные характеристики цементного теста из ВНВ и физико-механические свойства нормального раствора состава 1:3 (цемент:песок). Из данных этой таблицы следует, что при условии сохранения, а в некоторых случаях и повышения активности исходного портландцемента при применении технологии ВНВ создается реальная возможность замены значительной части клинкера в вяжущем на различные минеральные добавки.

С использованием клинкера промышленного производства и ряда минеральных добавок, в зависимости от содержания клинкерной части в составе ВНВ, получены вяжущие с нормальной густотой 16,5–18,6% и активностью 112,4 МПа. Если максимально достижимая активность чистоклинкерного ВНВ превышает 112 МПа, то в случае замены 20% клинкера на эквивалентное количество различных минеральных добавок прочность стандартного раствора составила 104,0–108,5 МПа, что практически соизмеримо с активностью ВНВ-100*. Кроме экономии клинкерной части, ВНВ-80 отличается лучшими сроками схватывания теста нормальной густоты, что должно обеспечивать более высокие формовочные свойства бетонных смесей при производстве бетонных работ.

Средняя активность ВНВ-60, содержащего различные минеральные добавки, составляет 86,0 МПа, а ВНВ-40 — 69,0 МПа, что значительно выше активности чистоклинкерного портландцемента. Эти данные были подтверждены в условиях промышленного производства ВНВ (Здолбуновский, Карадагский и Белгородский цементные заводы) и при изготовлении железобетонных изделий и конструкций широкой номенклатуры на ряде заводов ЖБИ.

Одна из особенностей ВНВ заключается в его способности длительное время сохранять активность при хранении. Это является следствием микрокапсулирования активных поверхностей клинкерных минералов цемента модификатором при совместном помоле и созданием адсорбционной преграды, предотвращающей взаимодействие частиц цемента с влагой окружающей среды. В связи с этим установлен срок хранения ВНВ, составляющий не менее 3 мес.

Лабораторными, опытными, опытно-промышленными испытаниями определены отличительные особенности бетонных смесей и бетонов на основе ВНВ. Установлено, что водопотребность таких смесей на 35–45% ниже водопотребности бетонных смесей на портландцементе, что предопределяется значением нормальной густоты теста из этого вяжущего. Испытания бетонных смесей на ВНВ различных видов с расходом вяжущего, изменяющимся в широких пределах (360–600 кг/м^3), показали, что при осадке конуса 20–22 см они практически не расслаиваются, а при расходе этого вяжущего ниже 300 кг/м^3 нерасслаивающаяся высокоподвижная бетонная смесь получается при относительно повышенном содержании песка. Формовочные свойства умеренно подвижных бетонных смесей характеризуются повышенной вязкостью в состоянии покоя и значительным тиксотропным разжижением при механических воздействиях. Установлено также, что не требуются какие-либо изменения в способе и оборудовании по транспортированию, укладке и уплотнению бетонных смесей на основе ВНВ.

Важное значение имеет кинетика набора прочности бетонов на основе ВНВ, заключающаяся в достижении высоких показателей в ранние периоды твердения. Это предопределяет существенное ускорение сроков строительства при возведении монолитных сооружений и возможность изготовления железобетонных конструкций в заводских условиях без использования термообработки.

Из рисунка видно, что с применением ВНВ-100 удается получить особо прочные легкие и тяжелые бетоны. На основе традиционных высокоактивных портландцементов, даже с использованием высокоэффективных суперпластификаторов, ранее это не представлялось возможным. Однако при этом важная роль принадлежит природе, плотности, прочности и геометрической форме зерен используемого крупного заполнителя. Если на основе дробленого керамзитового гравия максимально достижимая прочность бетона нормального твердения в возрасте 28 сут (при расходе ВНВ 480 кг/м^3) составляет 60 МПа при объемной массе 1750 кг/м^3, то использование плотного и высокопрочного габбро с зернами кубической формы позволяет получить бетоны из подвижных смесей (ОК=4-6 см) прочностью более чем 150 МПа. Дальнейший рост прочности бетонов лимитируется

*Цифра в марке обозначает содержание клинкерной части в составе вяжущего

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 2

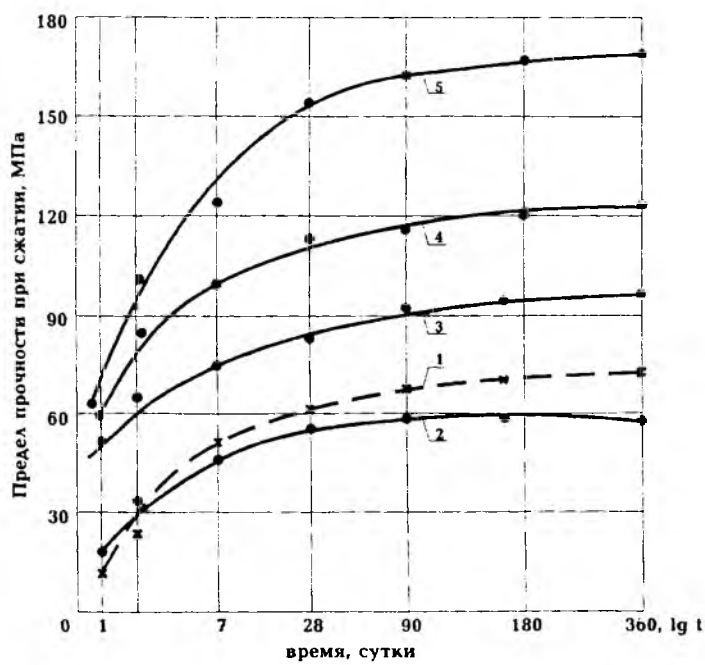
Вид вяжущего	В/В	ОК, см	Объемная масса бетона, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа	Призменная прочность, МПа	Модуль упругости $Ex10^{-4}$, МПа	Уровни трещинообразования		Морозостойкость, число циклов	Коэффициент морозостойкости
							R^o_{crc}	R^v_{crc}		
Портландцемент М 400	0,42	3,5	2400	36,2	28,6	2,85	0,353	0,78	300	0,88
То же, с добавкой С-3, 0,7%	0,42	20,0	2390	37,6	28,2	2,91	0,37	0,79	300	0,89
ВНВ-100	0,29	20,0	2450	75,3	64,8	3,7	0,56	0,89	500	1,23
ВНВ-60	0,3	21,0	2430	59,8	49,6	3,1	0,52	0,87	500	1,08
ВНВ-40	0,32	20,0	2400	44,5	36,6	3,08	0,49	0,86	400	0,92
ВНВ-100	0,25	3,0	2530	104,6	93,2	4,72	0,64	0,91	500	1,27
ВНВ-60	0,26	3,5	2490	77,6	67,4	3,89	0,58	0,87	500	1,12
ВНВ-40	0,26	3,0	2475	60,4	51,4	3,12	0,52	0,86	500	0,97

Примечание. В экспериментах использованы портландцемент М 500 Старооскольского завода и ВНВ, приготовленный на его основе.

прочностью крупного заполнителя, а носителем прочности является высокопрочный цементный камень из ВНВ. Следовательно, для дальнейшего повышения прочности бетона необходимо применять заполнители, прочность которых соизмерима или выше прочности такого цементного камня.

В табл.2 приведены основные физико-механические характеристики бетонов на основе различных видов ВНВ в возрасте 28 сут нормального твердения при расходе вяжущего в среднем 400 кг/м^3.

Как видно из приведенных данных, коэффициент призменной прочности бетонов находится в пределах 0,82–0,86, а у контрольных составов — 0,77–0,79. Это, по-видимому, может быть объяснено улучшением состояния контактной зоны на границе раздела "цементный камень — заполнитель", а также состава и структуры новообразований в этой зоне. Увеличение степени морозостойкости и трещиностойкости бетонов из ВНВ можно объяснить не только улучшением состояния контактной зоны, но и доведением до минимума содержания крупных капиллярных пор и в целом повышением плотности цементного камня и бетона. Это, в свою очередь, благоприятно сказывается и на других критериях долговечности. Например, после двухгодичного хранения образцов в различных температурно-влажностных условиях стальная арматура в бетоне на ВНВ с содержанием различных минеральных добавок в составе вяжущего до 50%–60% находится в устойчиво пассивном состоянии. Установлено, что коррозионно-пассивное состояние стальной арматуры в бетоне на ВНВ полностью обеспечивается при содержании клинкерного фонда в составе вяжущего от 150 кг/м^3 и выше.



Кинетика набора прочности при сжатии бетонов на основе ВНВ с использованием различных крупных заполнителей

1 — тяжелый бетон на основе исходного портландцемента и высокопрочного заполнителя (габбро-диабаза); 2 — то же, на основе ВНВ-100 и дробленого керамзитового гравия фракции 5–10 мм; 3 — то же, на основе карбонатного заполнителя; 4 — то же, на основе гранитного щебня; 5 — то же, на основе щебня из габбро-диабаза

Библиографический список

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. — М.: Стройиздат, 1990. — 392 с.

2. Бабаев Ш.Т. Высокопрочные бетоны на основе вяжущих низкой водопотребности//Промышленность строительных материалов. Серия 3 — Промышленность сборного железобетона. ВНИИЭСМ-М.: 1990. — Вып.4. — С. 16–30.

3. Бабаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф.Гольдина И.Я. Повышение прочности цементного камня//Цемент. — 1990, № 9. — С. 13–15.

4. Бабаева Ш.Т., Башлыков Н.Ф., Сердюк В.Н. Основные принципы получения высокоэффективных вяжущих низкой водопотребности/Промышленность сборного железобетона. Серия 3/ВНИИЭСМ-М.: 1991. — 75 с.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

А.М.ШЕЙНИН, С.В.ЭККЕЛЬ, кандидаты техн. наук (Союздорнии)

Высокопрочные бетоны для дорожных и аэродромных покрытий

Цементобетонные покрытия дорожных и аэродромных одежд являются одним из наиболее эффективных видов покрытия. В то же время для повышения их конкурентоспособности по сравнению с асфальтобетонными покрытиями необходимо совершенствовать дорожный бетон, технологию строительства и конструкции покрытий на его основе. При этом, с одной стороны, требуется повышение долговечности (срока службы), а с другой, — снижение материалоемкости и стоимости конструкций.

К таким более совершенным разновидностям дорожного бетона следует отнести высокопрочный (по прочности на растяжение при изгибе — основной его расчетной характеристике) бетон, составы и технология которого разработаны в Союздорнии [1,2]. Результаты этих разработок отражены в "Методических рекомендациях по строительству аэродромных покрытий из бетона марок Ри60, Ри65 с комплексной добавкой, включающей суперпластификатор НФ" (Союздорнии, 1983) и во "Временных методических рекомендациях по применению бетонов с добавкой суперпластификатора С-3 для транспортного строительства" (ЦНИИС, 1985).

Выполненные Союздорнии исследования показали, что применение высокопрочного бетона в аэродромной одежде позволяет снизить общую толщину покрытия, усовершенствовать армобетонные покрытия и повысить в целом эффективность строительства. Аналитические расчеты подтвердили также, что применение высокопрочных бетонов позволяет без увеличения материалоемкости повысить срок службы дорожных цементобетонных покрытий по условию механической выносливости с 20...25 до 30...50 лет в зависисмости от интенсивности действия расчетной нагрузки и толщины покрытия.

Под высокопрочным дорожным бетоном понимается разновидность дорожного бетона с нормированным объемом возвлеченного воздуха, отличающаяся более высоким классом по прочности на растяжение при изгибе (R_{tb} 4,8 и более), низким водоцементным отношением (менее 0,35) и соответствующей модификацией капиллярно-поровой структуры, обеспечивающей высокую морозостойкость этого бетона.

Получение экономичных по расходу цемента высокопрочных дорожных бетонов стало возможным после разработки нового класса пластифицирующих химических добавок — суперпластификаторов (С-3, НФ и др.). С использованием суперпластификаторов были разработаны высокопрочные бетоны со средней прочностью на растяжение при изгибе 6...8 МПа при содержании портландцемента марки ПЦ 500 400...500 кг/м^3, в то время как при использовании традиционного пластификатора типа ЛСТ содержание цемента в таких бетонах составляет 500...600 кг/м^3.

В исследованиях и в ходе строительства опытных участков покрытий было показано, что при проектировании состава высокопрочного бетона следует использовать разработанную в Союздорнии зависимость

$$R_{tb}=0{,}39\,R_{ц}\,(Ц/В-0{,}1)\,(1-0{,}025\,V_{в}),$$

где R_{tb}, $R_{ц}$ — соответственно прочность бетона и цемента на растяжение при изгибе, МПа; Ц/В — цементоводное отношение; $V_{в}$ — объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха, %.

Первый опытный участок покрытия из высокопрочного бетона марки $P_{tb}60$ был построен в 1980 г. на перроне аэродрома Минск-2 (работы осуществлял трест "Белдорстрой" Минтрансстроя). Бетонную смесь готовили в смесителе типа СБ-118, а ее укладку осуществляли в скользящей опалубке комплектом машин типа "Автогрейд". Применяли комплексную химическую добавку ЛСТ+НФ+СНВ. В данном случае не изменяли конструкцию покрытия, а ставили задачу отработать технологию его строительства из высокопрочного бетона при использовании тройной комплексной химической добавки.

Следующий опытный участок покрытия из высокопрочного бетона марки $P_{tb}65$ был забетонирован в 1983 г. при строительстве аэродрома в Краснодаре силами треста "Юждорстрой". Здесь также была использована комплексная химическая добавка ЛСТ+НФ+СНВ, а двухслойное покрытие из бетона марки $P_{tb}45$ общей толщиной 47 см было заменено равнопрочным однослойным из высокопрочного толщиной 30 см, что позволило получить максимальный экономический эффект. Успешные приемочные испытания данного участка покрытия позволили рекомендовать высокопрочный бетон к широкому внедрению в практику аэродромного строительства и прокладки дорог промышленных предприятий (прежде всего с целью замены двухслойных покрытий однослойными).

Применение высокопрочного бетона марки $P_{tb}60$ –$P_{tb}65$ при строительстве аэродромных покрытий в Уфе (в конце 1980-х годов трестом "Уфимдорстрой"), в Волгограде (АО "ДАДС") и аэропорта Шереметьево-2 (в настоящее время, АО СУ-801) позволило снизить процент армирования или полностью исключить его. При строительстве аэродрома в Уфе использовали химические добавки С-3, ЩСПК, СВП; в Волгограде — С-3, ЛСТ, ППФ, СНВ; в Шереметьево-2 — С-3, ЛСТ, СДО. Во всех случаях для бетона покрытий применяли стандартный цемент марки ПЦ 500 Новороссийского, Старооскольского и Себряковского заводов, частично — Стерлитомакского ПО "Сода" (при строительстве аэродромного покрытия в Уфе).

В табл.1 представлены составы высокопрочного бетона для аэродромных покрытий.

Расход песка и щебня в высокопрочном бетоне, соотношение фракций щебня 5...20 и 20...40 мм определяли так же, как для бетона обычных марок, и уточняли с учетом конкретных условий строительства. Главным образом, по условиям отделки (обработки) поверхности свежеуложенного покрытия, получения требуемого объема вовлеченного воздуха, с учетом особенностей перемешивания бетонной смеси в гравитационном смесителе и ее транспортирования, а так-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 1

Аэропорт, местонахождение	Марка бетона по прочности		Состав бетона, кг/м³				В/Ц	Добавка
	на сжатие	на растяжение при изгибе	цемент, завод-изготовитель	песок кварцево-полевошпатовый	щебень фракции 5...20 мм и 20...40 мм	вода		
Минск-2	500	65	500 старооскольский	660 средний	1175 гранит	135	0,30	ЛСТ+НФ+ +СНВ
Краснодар	450	65	470 новороссийский "Пролетарий"	600 очень мелкий	1102 гранит	165	0,35	ЛСТ+НФ+ +СНВ
Краснодар	450	65	560 -"-	445 очень мелкий	1102 гранит	195	0,35	ЛСТ+СНВ
Уфа	500	60	390 себряковский	846 средний	1074 гранит	130	0,33	С-3+СНВ С-3+ЩСПК+ +СВП
Волгоград	500	60	450 себряковский	700 средний	1100 доломит	135	0,30	С-3+ППФ С-3+СНВ
Шереметьево-2	500	60	445 старооскольский	680 средний	1050 гранит	155	0,35	С-3+СДО

Примечание. Осадка конуса бетонной смеси — 2...4 см; объем вовлеченного в бетонную смесь воздуха — 5...6% для всех составов бетона.

же нарезки деформационных швов сжатия.

Использование высокопрочного бетона позволяет раньше открывать движение, делает более стабильным, в меньшей степени зависящим от погодных условий процесс нарезки деформационных швов в затвердевшем бетоне, повышает стойкость кромок покрытия (на швах) против скалывания при наезде транспортных средств.

Опыт строительства указанных объектов выявил некоторые технологические особенности применения высокопрочного бетона. Так, при перемешивании малоподвижной бетонной смеси (с осадкой конуса 2...4 см и жесткостью по техническому вискозиметру 10...15 с) с низкими водоцементным отношением и водосодержанием в случае использования суперпластификаторов возрастает показатель потребления мощности на БСУ. Например, на смесителе типа СБ-109 этот показатель увеличился с 20...30 до 30...40 кВт. Иногда также возникают затруднения с выгрузкой бетонной смеси из автосамосвалов и с отделкой поверхности свежеуложенного бетона. Эти особенности объясняются повышением структурной вязкости такой бетонной смеси по сравнению с обычной (при одинаковых показателях подвижности и жесткости), и их следует учитывать при производстве работ. В частности, чтобы снизить уровень потребления мощности, было предложено уменьшить производительность смесителей непрерывного действия, несколько увеличить расход щебня в бетоне и долю крупной фракции в нем. При этом указанное увеличение расхода и изменение фракционного состава щебня в высокопрочном бетоне возможно лишь при условии сохранения требуемого содержания вовлеченного воздуха в бетонной смеси и удовлетворительной отделки поверхности свежеуложенного бетона.

В бетонной смеси для высокопрочного бетона (например, с добавкой С-3 и В/Ц $\leq$ 0,30) труднее при прочих равных условиях получить требуемый объем (5...7%) вовлеченного воздуха. Поэтому в высокопрочном бетоне, как правило, несколько выше расход воздухововлекающей добавки. При этом хорошо показала себя именно тройная комплексная добавка типа ЛСТ+С-3(НФ)+СНВ, а из воздухововлекающих — проверенная многолетней практикой строительства добавка СНВ. Бетонная смесь для высокопрочного бетона характеризуется иным соотношением между показателями осадки стандартного конуса и жесткости. Смесь с низким В/Ц и суперпластификатором при одинаковой жесткости отличается меньшей на 1...2 см подвижностью, чем обычная бетонная смесь, т.е. жесткая по внешнему виду смесь легко уплотняется (разжижается при вибрации) комплектом бетоноукладочных машин.

Особенности поведения бетонной смеси с низким В/Ц и суперпластификатором целесообразно выявлять при пробном бетонировании и регулировать с помощью корректировки состава бетона.

При работе с высокопрочным бетоном особо следует подчеркнуть важность входного контроля качества материалов. В частности, надо обратить внимание на сроки схватывания применяемого цемента и влияние на них используемых добавок, а также на содержание вовлеченного в бетонную смесь воздуха. При поставке цемента с признаками ложного схватывания во всех случаях не удавалось воспроизвести подобранный в лаборатории состав бетона и обеспечить получение необходимой поровой структуры бетона. Кроме того, отделка поверхности свежеуложенного покрытия из такого бетона требовала больших усилий, что приводило, в свою очередь, к появлению в ряде случаев разрывов бетонной смеси (технологических трещин) Опыт строительства покрытий из высокопрочного бетона убедительно показал необходимость четко оговаривать в договоре на поставку цемента соблюдение всех требований, предъявляемых к дорожному цементу. В частности, необходимо получать цемент без признаков ложного схватывания, с началом схватывания не менее 2 ч.

Таблица 2

Аэропорт, местонахождение	Прочность на растяжение при раскалывании R_{tt}, МПа	Приведенная прочность на растяжение при изгибе R_{tb}, МПа	K_F^{200}
Минск-2	4,5	7,7	1,25
Краснодар	4,1	7,0	0,98
Шереметьево-2	4,2	7,1	1,00

Примечания. 1. Прочность бетона на растяжение при раскалывании определена по образцам-кернам, выбуренным из покрытия Диаметр керна — 132...150 мм.

2. K_F^{200} — коэффициент морозостойкости по ГОСТ 10060-97 на базе 200 циклов.

3. R_{tb}=1,7 R_{tt}

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 3

Аэропорт, местонахождение	Прочность бетона, МПа			Пористость бетона, %			α	$\bar{\lambda}$
	R	R_{tb}	R_{tt}	$П_п$	$П_о$	$П_з$		
Уфа	54,8	7,42	3,88	14,1	9,6	4,5	0,25	0,49
Волгоград	50,2	6,64	4,15	15,1	10,2	4,9	0,50	1,75
Шереметьево-2	59,0	6,46	3,80	19,0	12,7	6,3	0,39	1,03

Примечания. 1. Пористость бетона определена по ГОСТ 12730-78; $П_п$, $П_о$, $П_з$ — соответственно полная, открытая капиллярная и условно-закрытая пористость; α, $\bar{\lambda}$ — показатель однородности размеров открытых капиллярных пор и их среднего размера

2. Прочность и пористость бетона определены при испытании образцов-балок.

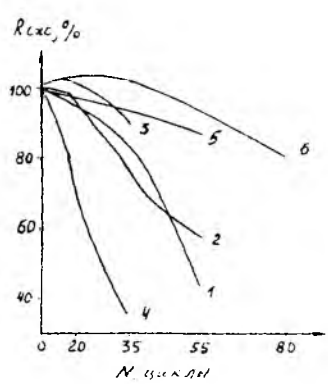
3. R, R_{tb}, R_{tt}— прочность бетона соответственно на сжатие, растяжение при изгибе и при раскалывании.

Таблица 5

Номера составов по табл.4	Прочность бетона на сжатие, МПа, через циклов						Коэффициент морозостойкости бетона через циклов					
	0	15	20	35	55	80	0	15	20	35	55	80
1	58,8	—	53,9	52,4	25,3	—	1,00	—	0,92	0,89	0,43	—
2	40,0	40,1	29,7	31,0	23,4	—	1,00	0,99	0,73	0,76	0,57	—
3	38,5	39,8	36,0	34,6	—	—	1,00	1,03	0,94	0,90	—	—
4	42,5	34,3	27,7	15,9	—	—	1,00	0,81	0,65	0,37	—	—
5	75,2	—	72,5	70,2	54,3	—	1,00	—	0,96	0,93	0,86	—
6	58,9	—	60,7	60,0	45,5	46,7	1,00	—	1,04	1,03	0,78	0,80
марка бетона по морозостойкости		150	200	300	400	500		100	200	300	400	500

Примечание. Морозостойкость бетона определена по III методу ГОСТ 10060-87 при замораживании бетона до –50°С и оттаивании при +20°С в 5%-ном водном растворе хлорида натрия.

В табл.2, 3 представлены результаты испытания высокопрочного бетона на прочность, пористость и морозостойкость. Они подтверждают, что на практике можно получить бетон марок $P_{tb}60...P_{tb}80$ требуемой морозостойкости на стандартных, рядовых материалах (портландцементе марки ПЦ500 без минеральных добавок и микронаполнителей, на гранитном или прочном доломитовом щебне и кварцево-полевошпатовом песке) при использовании комплексных добавок типа ЛСТ+С-3(НФ)+СНВ(ППФ, СДО) или С-3+СНВ(СДО) и ЛСТ+СНВ(СДО).



Зависимость прочности бетона на сжатие ($R_{отс}$) от числа циклов замораживания–оттаивания (N) при испытании по III методу ГОСТ 10060–87. Номера составов бетона приняты по табл.4

Исследование составов и свойств высокопрочного дорожного бетона показало, что его морозостойкость (при В/Ц=0,28...0,33) выше морозостойкости дорожного бетона обычно применяемых марок (с В/Ц $\geq$ 0,40) при том, что все сравниваемые бетоны содержат комплексную химическую добавку типа С–3+СНВ. Табл.4, 5 и рисунок иллюстрируют этот вывод.

При этом следует подчеркнуть, что просто снижением В/Ц, не обеспечивая нормируемое содержание вовлеченного воздуха в смеси, можно лишь незначительно повысить морозостойкость дорожного бетона. Добиваясь же одновременно вовлечения 5...7% воздуха в смесь с помощью воздухововлекающих добавок, этого можно достичь в гораздо большей степени. Таким образом, и в высокопрочном бетоне вовлеченный с помощью добавок типа СНВ воздух, так же, как и в бетоне обычных марок по прочности, является эффективным средством повышения морозостойкости бетона.

Таблица 4

В/Ц	Добавка	Прочность бетона, МПа	
		R	R_{tb}
0,40	С–3+СНВ	58,5	6,03
0,40	С–3+ЛСТ+СНВ	36,2	4,86
0,50	С–3+ЛСТ	44,9	4,41
0,60	С–3	44,5	4,83
0,29	С–3+СНВ	75,7	7,99
0,29	ЛСТ+С–3+СНВ	56,3	6,78

Примечания. 1. Дозировка добавок дана в расчете на сухой продукт, добавки вводили с водой затворения.

2. R, R_{tb} — прочность бетона в возрасте 28 сут нормального хранения на сжатие и растяжение при изгибе определена по ГОСТ 10180-90 на балках размером 10х10х40 см

3. Цемент ПЦ 500-ДО-Н Старооскольского завода, щебень гранитный фр.5 . 20 мм, песок средний кварцево-полевошпатовый.

Проведенные исследования и опыт возведения покрытий подтвердили, что высокопрочный дорожный бетон с низким В/Ц (0,28...0,33), с комплексной химической добавкой, содержащий требуемый объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси, характеризуется более высокой (ориентировочно в 1,5...2 раза) морозостойкостью, чем дорожный бетон обычных марок по прочности. Это позволяет соответственно повысить срок службы дорожных и аэродромных цементных покрытий из высокопрочного бетона не только по условиям прочности, но и по морозостойкости.

В последнее время в мире широкое распространение получают "комбинированные" покрытия, представляющие собой тонкий слой асфальтобетона на покрытии из бетона различных марок по прочности. И в этом случае применение высокопрочного бетона позволит повысить долговечность конструкций дорожной одежды, а также эффективность строительства.

Библиографический список

1. Эккель С.В. Высокопрочный бетон с комплексными химическими добавками для покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Автореф. дисс...канд. техн. наук, Союздорнии, М., 1987, 22 с.

2. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. М., Транспорт, 1991, 151 с.

3. Шейнин А.М. Эффективные цементобетонные покрытия//Автомобильные дороги. — 1995, — № 6. — с. 19–20.

4. Пинус Э.Р., Эккель С.В. Высокопрочный бетон для покрытий автомобильных дорог и аэродромов// Автомобильные дороги. — 1989 г. — № 3. — с. 11–12.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Л.И.ДВОРКИН, д-р техн. наук, О.Л.ДВОРКИН, канд. техн. наук (Украинская государственная академия водного хозяйства)

Производственная адаптация расчетных составов тяжелого бетона

Известно множество методов расчета составов бетона с заданными техническими показателями [1–4], однако они не позволяют в полной мере учесть все многообразие факторов, влияющих на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона. Кроме того, в условиях реального производства некоторые технологические факторы "плавают", т.е. являются нестабильными, что требует частого корректирования составов смеси для достижения гарантированного качества бетона.

Обеспечение необходимых составов бетона является сложной технологической задачей, которая должна складываться из двух этапов: 1 — проектирования и лабораторного корректирования составов; 2 — производственной адаптации состава.

Если первый этап изучен достаточно обстоятельно, то второму посвящены немногочисленные работы [5, 6], и он не реализуется, как правило, на предприятиях, что приводит к существенному снижению однородности качественных показателей продукции. Предложенные [6] рекуррентные алгоритмы адаптации составов бетона приемлемы в основном в условиях АСУ ТП, и реализация их на предприятиях, работающих в обычном режиме, затруднительна.

В настоящей статье излагаются основы методики адаптации лабораторных составов бетона с использованием известных [1–4] расчетных зависимостей и данных текущего производственного контроля. Методика может быть использована в программах назначения и оперативного управления производственными составами бетонов для персональных компьютеров.

Составы тяжелого бетона однозначно связаны с тремя параметрами: цементно-водным отношением (Ц/В), водопотребностью бетонной смеси (В) и коэффициентом заполнения пустот и раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором (α). В соответствии с наиболее широко используемым в технологии бетона расчетно-экспериментальным методом [1, 2] эти параметры используются при определении расходов (в кг/м^3): цемента $Ц = В\,\frac{Ц}{В}$; крупного заполнителя $Щ = \frac{V_{бс}\cdot\rho_{нщ}}{1+V_{пщ}\cdot(\alpha-1)}$; мелкого заполнителя

$$П = \rho_п\cdot\left(V_{бс} - \frac{Ц}{\rho_ц} - В - \frac{Щ}{\rho_щ} - \Delta V\right).$$

где $V_{бс}$ — абсолютный объем бетонной смеси; $\rho_{нщ}, V_{пщ}$ — соответственно насыпная плотность и пустотность крупного заполнителя; $\rho_п, \rho_щ, \rho_ц$ — соответственно истинные плотности песка, крупного заполнителя и цемента; ΔV — абсолютный объем дополнительных компонентов, таких как добавки, вовлеченный воздух и т.д..

Адаптация составов бетонной смеси заключается в оперативном корректировании В, Ц/В и α с учетом фактически достигаемых значений показателей удобоукладываемости смеси и технических свойств бетона. В зависимости от режима работы предприятия возможно использование обычных, экспрессных и автоматических способов измерения нормируемых показателей. При этом соответственно изменяется и степень быстродействия адаптивной системы.

На первом этапе, до получения информации о прочности и других свойствах затвердевшего бетона, адаптация составов сводится к непрерывному корректированию их в зависимости от фактической водопроводности бетонных смесей с пересчетом расхода цемента при Ц/В = const и соотношения заполнителей при соответствующем изменении α. Водопотребность ($В_о$) бетонной смеси, как показывает обработка многочисленных экспериментальных данных [1–4], связана с показателем удобоукладываемости ($П_у$) параболической функцией вида

$$В_о = a + b\,П_у + c\,П_у^2 \qquad (1)$$

Для тяжелых бетонов при использовании традиционных материалов (портландцемента с НГ = 28%, песка с модулем крупности $М_{кр}$ = 3 и содержанием глинистых и пылеватых примесей 3%, щебня наибольшей крупностью 20 мм с содержанием глинистых и пылеватых примесей 1% и температурной бетонной смеси 20°С) на основе эмпирических данных [2] можно принять:

для подвижных смесей (при определении ОК в см) $a = 164 + \Delta a$ (2)

для жестких смесей $a_1 = 197 + \Delta a_1$, (3)

где $\Delta a, \Delta a_1$ — суммы поправок на водопотребность бетонных смесей, учитывающие особенности исходных материалов [2].

Значения коэффициентов b и c в уравнении (1) можно принять на основе данных [2] соответственно равными для подвижных смесей 6,4 и (–0,14), жестких — (–4,93) и 0,02.

Фактическую водопотребность бетонной смеси в производственных условиях можно определить по формуле

$$B_ф = B + \Delta B, \qquad (4)$$

где $B = В_о - В_з$ ($В_з$ — вода, содержащаяся в заполнителях).

Выражение для ΔB находится из уравнений (1) и (4):

$$\Delta B = b\cdot\Delta П_у + c\cdot\Delta П_у^2 + \sigma, \qquad (5)$$

где $\Delta П_у = П_у^р - П_у^ф$ (6)

$$\Delta П_у^2 = (П_у^р)^2 - (П_у^ф)^2 \qquad (7)$$

($П_у^р$ и $П_у^ф$ — соответственно расчетные и фактические значения удобоукладываемости; σ — эмпирический показатель, отражающий особенности конкретного производства и определяемый экспериментально в процессе корректирования). Корректирование ΔB производится во всех случаях, когда $\Delta П_у$ больше допустимых значений, установленных в технологическом регламенте (рис.1).

При изменении влажности и других особенностей заполнителей уточняется расчетное значение водопотребности бетонной смеси (B), что может сказываться и на величине ΔB.

На втором этапе адаптации расчетных составов бетона корректируется Ц/В, с которым однозначно связано большинство нормируемых свойств

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

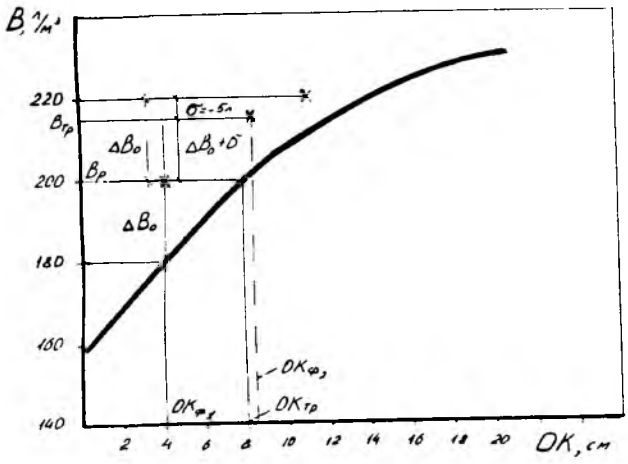


Рис. 1. Графический пример адаптации Ц/В

1 — расчетная зависимость $R_б = f$(Ц/В); 2 — адаптированная зависимость $R_б = f$(Ц/В)

$(Ц/В)_{р1}$ и $(Ц/В)_{р2}$ — соответственно расчетные значения Ц/В до и после корректирования; $(Ц/В)_{тр1}$ и $(Ц/В)_{тр2}$ — соответственно требуемые значения Ц/В до и после корректирования; $в_1$ и $в_2$ значения коэффициента $в$ в формуле (10) до и после корректирования; K_1 и K_2 — значения коэффициента K в формуле (10) до и после корректирования

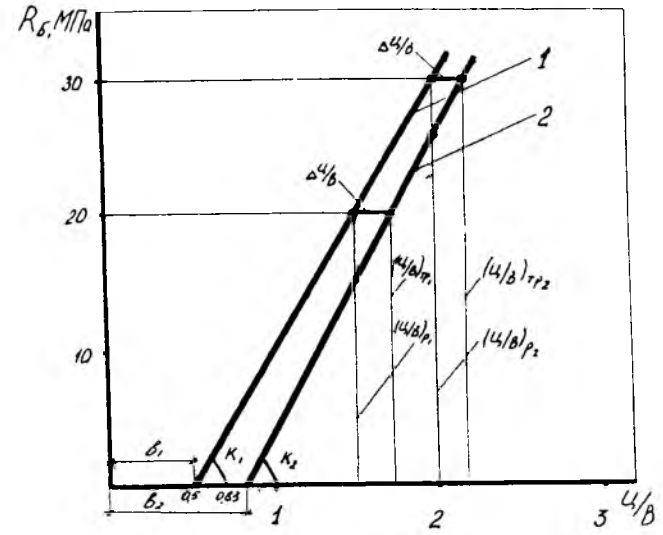


Рис. 2. Графический пример адаптации водопотребности бетонной смеси

$ОК_{ф1}$ и $ОК_{ф2}$ — фактические значения осадки конуса до и после корректирования; $ОК_{тр}$ — требуемая осадка конуса; $В_р$ и $В_{тр}$ — расчетная и требуемая водопотребность бетонной смеси

бетона. Одна из главных задач выбора производственного состава бетона заключается в том, чтобы обеспечить минимально необходимое Ц/В для достижения всего комплекса нормируемых свойств. С этой целью при необходимости возможно ступенчатое корректирование Ц/В. Например, сначала для достижения распалубочной, затем отпускной и проектной прочности, водонепроницаемости и т.д. При нормировании одного показателя адаптация Ц/В производится в одну ступень. В общем случае $(Ц/В)_{тр} \geq (Ц/В)_i$, где $(Ц/В)_{тр}$ — требуемое Ц/В с учетом всего комплекса нормируемых свойств; $(Ц/В)_i$ — Ц/В, необходимое для обеспечения i-го нормируемого свойства.

При расчете базовых составов бетона Ц/В определяется по формуле

$$R_б = A\, R_ц\, (Ц/В - в) \qquad (8)$$

Значения коэффициентов A и $в$ принимаются по известным рекомендациям [1, 2] или определяются экспериментально в условиях конкретного производства. При введении в бетонную смесь минеральных наполнителей (золы, микрокремнезема и др.) находится "приведенное" Ц/В [3]

$$(Ц/В)_{пр} = \frac{Ц + K_{цэ} \cdot Н}{В}, \qquad (9)$$

где $Н$ — расход наполнителя в кг/м^3; $K_{цэ}$ — коэффициент "цементирующей эффективности" наполнителя, т.е. расход цемента в кг, заменяемый 1 кг наполнителя.

Для адаптации составов в условиях действующего производства необходимо систематическое уточнение коэффициентов A и $в$ в формуле (8). Учитывая, что фактическая активность применяемого цемента ($R_ц$) во многих случаях с достаточной точностью неизвестна, в адаптационных расчетах исходную формулу (8) целесообразно представить в виде

$$R_б = K\,(Ц/В - в), \qquad (10)$$

где $K = A\, R_ц$

Восстановление зависимости $R_б = f$ (Ц/В) возможно, если поступает информация о двух фактических значениях $R_б$ при двух различных значениях Ц/В (рис.2). Тогда

$$в = \frac{R_{б1} \cdot (Ц/В)_2 - R_{б2} \cdot (Ц/В)_1}{R_{б1} - R_{б2}} \qquad (11)$$

$$K = \frac{R_{б1}}{(Ц/В)_1 - в} \text{ или } K = \frac{R_{б2}}{(Ц/В)_2 - в} \qquad (12)$$

Требуемое Ц/В можно найти по формуле

$$(Ц/В)_{тр} = \frac{R_б^{тр} + в \cdot K}{K} \qquad (13)$$

Производственные составы не нуждаются в адаптации, если фактически достигаемая прочность находится в доверительном интервале, ограниченном предупредительными границами, значения которых определяются принятыми статистическими параметрами.

Для уточнения соотношения заполнителей при откорректированном расходе цемента пересчитывается коэффициент раздвижки зерен крупного заполнения α. При этом могут быть использованы данные текущего контроля пустотности заполнителей [2]. Для расчета коэффициента α возможно применение, наряду с табличными и графическими данными, эмпирических уравнений [4].

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. — М.: Высшая школа, 1978, с. 415.

2. Сизов В.П. Проектирование составов тяжелого бетона. — М.: Стройиздат, 1979, с. 144.

3. Дворкин Л.Й. Оптимальное проектирование составов бетона. — Львов, "Вища школа", 1981, с. 159.

4. Шеин В.И. Физико-химические основы оптимизации технологии бетона. — М.: Стройиздат, 1977, с. 271.

5. Мороз В.Н., Теплицкий Ф.Н., Френкель М.И. Автоматизация расчетов по подбору составов тяжелого бетона на мини-ЭВМ// Бетон и железобетон. — 1980. — № 4. — 32–33.

6. Дисперсионная идентефикация/Под ред. Н.С.Райбмана. — М.: "Наука", 336 с.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

О.И.ПАДИН, канд. техн. наук (НИИЖБ)

Механические свойства арматурной стали, применяемой на стройках Москвы

Лабораторией арматуры НИИЖБа на различных московских стройках (храм Христа Спасителя, Торговый рекреационный комплекс на Манежной площади, мостовые переходы через МКАД и др.) осуществлялся входной контроль качества арматурной стали в соответствии с требованиями стандарта. От 400 партий-плавок арматурной стали диаметром 8...40 мм были отобраны и испытаны на растяжение по методике ГОСТ 12004 более 800 образцов. Дополнительно также проведены многочисленные испытания на изгиб.

Анализ данных сертификатов и результатов контрольных испытаний показал, что на стройки Москвы реально поступает арматурная сталь периодического профиля следующих основных групп:

1. Горячекатаная (Г/К) — класса А400 (А–III) марок 35ГС и 25Г2С диаметром 20...40 мм с химическим составом по табл.1 производства практически всех металлургических заводов России и Украины, а также Узбекского, Белорусского и Липецкого металлургических заводов.

2. Термомеханически упрочненная (ТМУ) — диаметром 8...28 мм классов А400С, А500С и А420 производства Западно-Сибирского меткомбината, Белорусского и Молдавского метзаводов, изготовленная из стали марок Ст5сп, Ст3пс и Ст3сп.

3. Термомеханически упрочненная — диаметром 10...25 мм из стали марок Ст5Гпс и 25Г2пс, поставляемая как горячекатаная сталь 35ГС и 25Г2С класса А400 по ГОСТ 5781 Криворожским меткомбинатом.

4. Гладкая горячекатаная и термомеханически упрочненная арматура диаметром 8...22 мм, поставляемая многими металлургическими предприятиями России и стран СНГ.

В настоящее время в России и странах СНГ происходит переход на новый серповидный периодический профиль, или, как его еще называют, "европрофиль". Арматурная сталь с таким периодическим профилем при прочих равных условиях имеет предел текучести $\sigma_т$ и временное сопротивление разрыву $\sigma_в$ на 5–10% выше. Большинство металлургических заводов Украины, а также Белорусский метзавод и Запсибметкомбинат поставляют арматуру с таким периодическим профилем.

В новых стандартах, вышедших в 1993–1994 гг. (ГОСТ 10884, ГОСТ 5781, СТО АСЧМ 7–93), и ТУ классы стали обозначаются по нормируемому пределу текучести — А400, А500С, и т.п. Однако большинство российских метпредприятий, кроме Запсибметкомбината, продолжают поставлять горячекатаную арматуру класса А400 со старым обозначением А-III. Кроме того, многие партии стали вообще не имели заводских сертификатов, и в прилагаемых документах не указывался завод-изготовитель. Поэтому действительный класс прочности выявлялся только после контрольных испытаний.

Фактическая и большая часть поставляемой арматурной стали диаметром 8...25 мм является термомеханически упрочненной (ТМУ) классов Ат400С или Ат500С со свойствами и химическим составом по ГОСТ 10884 или ТУ 14-1-5254-94 (см.табл.1). Но с комбината "Криворожсталь" и с других предприятий эта сталь поставляется как горячекатаная (Г/К) класса А400 (А-III) по ГОСТ 5781 или по Техническим условиям Украины, Молдавии и Белоруссии, что является нарушением законодательства, за которое несет ответственность не только поставщик, но и потребитель арматуры.

Следует иметь в виду, что вообще при гораздо лучших эксплуатационных свойствах ТМУ арматуры стыкование ее на монтаже ванной сваркой требует другой технологии и конструкций соединений, нежели при применении Г/К арматуры. Последняя поставлялась в основном диаметром 20...40 мм, и ее химический состав очень часто был на верхнем пределе содержания углерода и марганца.

Из многочисленных случаев отбраковки горячекатаной арматур-

Таблица 1

Класс и диаметр, мм	Марка стали (фактическая)	Химический состав, %			Механические свойства		
		C	Si	Mn	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5
					Н/мм²		%
Г/К А400 (А-III) 12–40	35ГС	0,28–0,39	0,60–0,99	0,78–1,20	640–910	400–700	14–29
	25Г2С	0,22–0,31	0,54–0,87	1,02–1,69	600–770	400–520	16–29
ТМУ А400С и А500С[1] 16–28	Ст3пс	0,17–0,20	0,06–0,07	0,47–0,53	578–770	480–640	17–24
Ат500С[2] 12	Ст5сп	0,29–0,34	0,21–0,26	0,59–0,72	740–765	600–615	20–22
Ат400 Ат500[2] 10–25	Ст5Гпс[2]	0,28–0,37	0,03–0,17	0,84–1,2	620–960	450–770	14–25
	25Г2пс[3]	0,22–0,29	0,04–0,08	1,26–1,48	610–760	480–620	17–26

Примечания. 1. Эти партии арматурной стали поставлены как арматура класса А400 (А-III) по ГОСТ 5781.

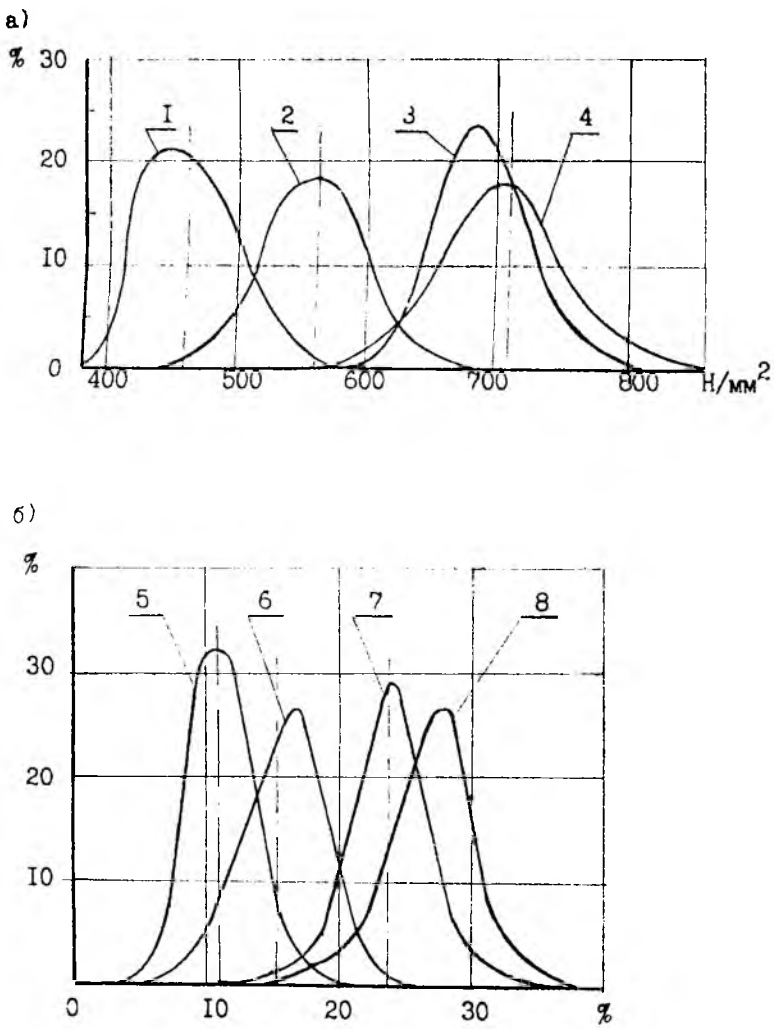
2. В сертификатах указана марка стали 35ГС.

3. В сертификатах указана марка стали 25Г2С.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 2

Вид арматуры	Механические свойства	Статистические характеристики				
		X	S	$X-1{,}64S$	$X-3S$	S/X
Горячекатаная класса А400, ∅10...40 мм	$\sigma_в$, Н/мм²	708,4	37,3	647,2	—	0,0525
	$\sigma_т$, Н/мм²	460,0	34,4	403,6	356,8	0,075
	δ_5, %	26,94	3,38	21,40	—	0,126
	$\delta_р$, %	15,67	3,22	10,40	—	0,206
Термомеханически упрочненная класса А400...Ат500С ∅10...22 мм	То же	708,2	51,3	624,1	—	0,0725
		560,0	45,2	485,9	424,4	0,0806
		23,86	3,01	18,92	—	0,126
		11,04	2,35	7,19	—	0,213
Термообработанная класса А240, ∅8 мм	То же	513,8	59,4	416,3	—	0,116
		404,6	27,4	359,6	322,5	0,068
		34,7	5,74	25,6	—	0,165
		11,72	1,26	9,65	—	0,107
Горячекатаная класса А240, ∅10...22 мм	То же	467,8	25,8	417,6	—	0,554
		315,4	9,6	299,3	287,1	0,030
		39,35	1,47	36,94	—	0,375
		24,04	2,1	22,3	—	0,875



Распределение прочностных (*а*) и пластических (*б*) свойств арматурной стали классов А400 (А-III) и А400С...Ат500С

1 — $\sigma_т$ класса А400; 2 — $\sigma_т$ класса А400С; 3 — $\sigma_в$ класса А400С; 4 — $\sigma_в$ класса А400; 5 — $\delta_р$ класса А400С; 6 — $\delta_р$ класса А400; 7 — δ_5 класса А400С; 8 — δ_5 класса А400

ной стали выделили две основные группы:

при высоком содержании углерода и марганца в арматуре из стали 35ГС имели место низкая пластичность и хрупкость при изгибе;

низкие механические свойства ($\sigma_т$ и $\sigma_в$) при высокой пластичности стали 25Г2С и 35ГС.

Только благодаря ограничению и даже запрету (на отдельных объектах) сварки стали класса А400 (А-III) на монтаже удалось избежать аварийных ситуаций, хотя один несчастный случай при гибке арматуры 35ГС был зафиксирован.

При применении ТМУ арматуры благодаря более высокой прочности и пластичности, а также лучшей свариваемости при локальных тепловложениях аварийных случаев не было, и только одна партия стали комбината "Криворожсталь" была забракована из-за прокатных дефектов.

Результаты статистической обработки 800 контрольных испытаний арматурной стали, проведенных в НИИЖБе, приведены в табл.2 и на рисунке.

Анализ полученных данных показывает, что при высоких средних значениях $\sigma_в$ и $\sigma_т$ у горячекатаной арматуры класса А400 марок 35ГС и 25Г2С имеет место значительная изменчивость этих характеристик. В результате при нормативных (X-1,64S) показателях механических свойств, отвечающих требованиям ГОСТ 5781, величина расчетного сопротивления, принятая СНиП 2.03.01 равной 365 Н/мм², не обеспечивается с требуемой вероятностью 0,999 (X-3S).

Термомеханически упрочненная арматура при одинаковом с горячекатаной сталью временным сопротивлением разрыву имеет среднюю величину предела текучести на 100 Н/мм² выше и соответственно существенно более высокие нормативные (X-1,64S) и расчетные (X-3S) показатели предела текучести.

Гладкая термообработанная арматура диаметром 8 мм, поставляемая классом А240, имеет фактические прочностные свойства на уровне класса А300 (А-II) при характеристиках пластичности, регламентируемых ГОСТ 5781 к стали класса А240.

Качество стержневой гладкой Г/К арматуры класса А240 (А-I) полностью соответствует требованиям ГОСТ 5781.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

А.С.ЗАЛЕСОВ, Е.А.ЧИСТЯКОВ, доктора техн. наук (НИИЖБ)

Расчет и конструирование монолитных каркасов с плоскими перекрытиями

В настоящее время большое распространение в жилищном и гражданском строительстве получают монолитные железобетонные каркасные здания с плоскими перекрытиями. Однако достаточная нормативная база по проектированию таких конструкций в России отсутствует.

Расчет железобетонных монолитных каркасов с плоскими перекрытиями рекомендуется производить методом заменяющих рам. Этот метод расчета прост и физически понятен, дает надежные результаты и принят как в международных нормативных документах, так и в нормах ведущих зарубежных стран (США, Англии, Франции и др.).

Заменяющие рамы образуются в двух взаимно перпендикулярных направлениях путем рассечения каркаса вертикальными плоскостями, проходящими параллельно осям колонн через середины смежных поперечных пролетов (внутренних и крайних). В результате заменяющие рамы получаются в виде ряда колонн, соединенных условными ригелями, состоящими из полосы плиты шириной, равной расстоянию между серединами двух поперечных пролетов, примыкающих к соответствующему ряду колонн. При наличии балок между колоннами (например, по контуру перекрытия) в состав условного ригеля включаются также эти балки.

Заменяющие рамы рассчитываются на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок. Первая располагается в пределах площади условного ригеля. Вторая передается на заменяющие рамы при рамной конструктивной схеме или на вертикальные элементы жесткости при связевой конструктивной схеме.

Определение усилий, действующих в элементах заменяющих рам, производится по общим правилам расчета рам как упругих систем с жесткими узлами в местах соединения колонн с условными ригелями. При расчете рам на вертикальную нагрузку для определения жесткости условного ригеля учитывается полная ширина условного ригеля, а при расчете на горизонтальную нагрузку — половина ширины условного ригеля.

Продольные и поперечные рамы рассчитываются независимо друг от друга.

Условный ригель заменяющей рамы должен быть рассчитан:

по прочности и раскрытию трещин в опорных (проходящих по граням колонн) и пролетных (расположенных в пролете) нормальных сечениях;

по прочности в приопорных наклонных сечениях;

по прочности краевых балок в пространственных сечениях;

по прочности узла сопряжения условного ригеля с колонной;

по деформациям.

При расчете по нормальным сечениям условного ригеля рассматриваются независимо друг от друга его надколонные и средние полосы. Надколонная полоса условного ригеля средней заменяющей рамы включает участок плиты, состоящий в поперечном направлении из двух полуполос, расположенных по обеим сторонам оси заменяющей рамы. Каждая полуполоса имеет ширину, равную 1/4 расстояния между осями заменяющих рам, если это расстояние меньше или равно пролету условного ригеля вдоль заменяющей рамы, или 1/4 пролета условного ригеля, если он меньше расстояния между осями заменяющих рам. В надколонной полосе условного ригеля крайней заменяющей рамы ширина одной из полуполос принимается равной расстоянию от края перекрытия до оси заменяющей рамы. Средние полосы условного ригеля включают остающиеся крайние участки по ширине условного ригеля с каждой стороны оси заменяющей рамы.

Моменты, действующие в опорных и пролетных сечениях условного ригеля, распределяются между его надколонными и средними полосами в зависимости от расположения колонны в раме (крайняя или промежуточная колонна), соотношения между поперечными и продольными (вдоль оси рамы) пролетами, соотношения жесткостей на изгиб балок, расположенных между колоннами, и плиты условного ригеля и соотношения жесткости на кручение поперечных балок и жесткости на изгиб плиты условного ригеля.

Расчет условного ригеля на действие поперечных сил по наклонному сечению производится отдельно для надколонной и средней полосы. При этом разделение плиты на надколонную и среднюю полосы и разделение поперечных сил между ними производится аналогично правилам, принятым для расчета по нормальным сечениям на действие изгибающего момента.

Расчет поперечных балок условных ригелей, расположенных по крайнему ряду колонн, по пространственным сечениям производится на действие изгибающих моментов, поперечных сил и крутящих моментов, принимаемых равными половине изгибающего опорного момента.

Расчет узлового соединения плоской плиты условного ригеля с колоннами производится на изгиб и срез (продавливание).

Расчет узлового сопряжения на изгиб производится из условия, по которому определенная доля изгибающего момента условного ригеля, действующего в узловом соединении условного ригеля и колонны, должна

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

быть не более предельного изгибающего момента, воспринимаемого плитой вблизи узлового соединения с колонной.

Изгибающий момент в узловом соединении условного ригеля с колонной определяется как сумма моментов в опорных сечениях колонн, примыкающих к условному ригелю, а его доля, которая должна быть воспринята плитой у колонны, определяется в зависимости от положения колонны (угловая, крайняя или средняя), направления действия момента относительно края плиты (перпендикулярно или параллельно), соотношения сторон критического сечения, располагаемого на расстоянии, равном 1/2 рабочей высоты плиты от граней колонны, но принимается не менее 1/2 величины изгибающего момента.

Предельный изгибающий момент определяется исходя из сопротивления продольной арматуры, расположенной в пределах эффективной ширины плиты, определяемой в зависимости от размеров критического сечения, располагаемого вокруг колонны.

Расчет узлового соединения плоской плиты на срез (продавливание) в общем случае производится на действие нормальной (продавливающей) силы на плиту в месте ее соединения с колонной и оставшейся доли изгибающего момента в узловом соединении условного ригеля с колонной, воспринимаемой плитой за счет ее сопротивления срезу. Сопротивление срезу плиты в узловом сопряжении с колонной определяется касательными напряжениями, равными расчетным сопротивлениям бетона растяжению, равномерно распределенным по замкнутому вертикальному сечению плиты. Это сечение расположено по периметру критического сечения на расстоянии, равном 1/2 рабочей высоты сечения плиты, от граней колонны. При наличии поперечной арматуры в плите на участке, примыкающем к колонне, сопротивление срезу плиты включает растягивающие усилия в поперечной арматуре с расчетными сопротивлениями растяжению. Это арматура расположена на расстоянии 1/2 рабочей высоты сечения плиты по обе стороны критического сечения; равнодействующие усилий в поперечной арматуре принимаются расположенными по контору критического сечения.

Расчет условного ригеля по деформациям (как линейной системы) производится на действие изгибающих моментов, полученных из расчета заменяющих рам. При этом рассматривается полное поперечное сечение условного ригеля, включающее всю продольную арматуру, расположенную в пределах расчетного поперечного сечения.

При нерегулярном расположении отдельных колонн в общем случае рекомендуется рассматривать регулярную систему рам с взаимно перпендикулярными осевыми линиями, проходящими через центр всех колонн. При этом в точках пересечения осевых линий, где колонны отсутствуют, принимается условная (фиктивная) упругоподатливая опора, податливость которой характеризуется прогибом условного ригеля заменяющей рамы в направлении, перпендикулярном рассматриваемому.

При смещении центра отдельной колонны не более чем на 10% допускается принимать положение этой колонны по оси заменяющей рамы и расчет производить как для регулярной системы. При смещении центра колонны до 30% допускается принимать положение этой колонны по оси заменяющей рамы, но с условно увеличенным расстоянием (пролетом) по оси рамы до соседней колонны.

При наличии дополнительных колонн, расположенных между крайними колоннами рассматриваемых заменяющих рам, влияние дополнительных колонн допускается учитывать путем увеличения жесткости на изгиб основных крайних колонн.

При наличии двух соседних параллельных заменяющих рам, имеющих разные по длине пролеты, влияние неравномерного деформирования в общей средней полосе между рамами допускается учитывать, принимая моменты в общей средней полосе равными сумме моментов в средних полуполосах примыкающих заменяющих рам.

При наличии большого отверстия в пределах участка, ограниченного осями смежных заменяющих рам, следующих во взаимно перпендикулярном направлении, которое не пересекает надколонную полосу, в расчете заменяющей рамы не учитываются части плиты условного ригеля, примыкающие к отверстию и расположенные в пределах этого участка.

Армирование плоских плит перекрытий монолитного каркаса рекомендуется выполнять с помощью вязаной (бессварной) арматуры.

Продольная арматура, требуемая по расчету для надколонной и средней полосы условного ригеля, устанавливается равномерно в пределах каждой полосы. Продольная арматура, требуемая из расчета узлового сопряжения плиты условного ригеля с колонной, устанавливается сосредоточенно у колонны в пределах эффективной ширины плиты. Продольная арматура, располагаемая в пределах надколонной и средней полосы и эффективной ширины плиты, у края плиты должна иметь анкеровку, обеспечивающую восприятие соответствующих опорных моментов, путем ее заведения за опорную ось на длину анкеровки или путем загиба арматуры.

В зоне узла сопряжения плиты с колонной, в том случае, если требования расчета на срез (продавливание) плиты без поперечной арматуры не удовлетворяются, должна устанавливаться поперечная арматура. Поперечную арматуру рекомендуется выполнять в виде крестообразно расположенных вязаных каркасов с вертикальными хомутами и продольными стержнями, пересекающими колонну. Расстояние от конца каркаса до грани колонны принимается таким образом, чтобы в критическом сечении, расположенном на расстоянии, равном 1/2 рабочей высоты плиты, от края каркаса, прочность на срез (продавливание) была обеспечена только за счет бетона без поперечной арматуры.

Свободные края плиты должны иметь поперечную арматуру, огибающую свободную грань плиты.

В настоящее время в НИИЖБе, в лаборатории теории железобетона разработаны подробные рекомендации по проектированию, расчету и конструированию железобетонных монолитных каркасов с плоскими перекрытиями (тел. 174-7517).

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Т.М.ПЕЦОЛЬД, д-р техн. наук (Белорусская государственная политехническая академия);
Д.Н.ЛАЗОВСКИЙ, канд. техн. наук (Полоцкий государственный ун-т)

Расчет усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений

Перед усилением под нагрузкой, с частичным или полным разгружением, железобетонные конструкции эксплуатируемых строительных сооружений имеют напряженно-деформированное состояние, отличное от первоначального после изготовления конструкции. Это связано с предысторией их работы за период эксплуатации до момента усиления. Методика расчета на основе использования диаграмм деформирования бетона и арматуры [1-4, 8] позволяет получить необходимые характеристики напряженно-деформированного состояния железобетонного элемента с учетом его фактического состояния перед усилением.

Дополнительные элементы, включаемые в совместную работу с усиливаемой конструкцией, имеют разный возраст, разные физико-механические и реологические характеристики, включаются в работу в разные моменты времени. Фактически усиленная конструкция перед нагружением превращается в составную конструкцию, состоящую из основной части, находящейся в определенном напряженно-деформированном состоянии, и дополнительной части - в первоначальном состоянии.

Основным признаком группы методов усиления, связанных с увеличением поперечного сечения, является обеспечение совместной работы основной и дополнительной части усиленной конструкции по всей длине контакта.

Гипотеза плоских сечений для относительных деформаций всего сечения усиленного под нагрузкой железобетонного элемента, состоящего из основной и дополнительной части не выполняется, поскольку при усилении в основной части сечения уже имеются начальные деформации от воздействия нагрузки, предварительного напряжения или усадки. Принимается гипотеза плоских сечений в постановке В.И. Мурашова - Я.М. Немировского [5, 6] для относительных деформаций дополнительной части и для приращений относительных деформаций основной части сечения конструкции после усиления.

С учетом наличия основной и дополнительной части сечения, условий равновесия усилий и вышеназванного условия деформирования в момент времени t можно записать уравнения напряженно-деформированного состояния нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента, усиленного увеличением поперечного сечения:

$$\sum_{i=1}^{n}\sigma_{(b,s)i}(t)A_{(b,s)i}\left[y_{0,ad}(t)-y_{(b,s)i}\right]+\sum_{i=1}^{n_{ad}}\sigma_{(b,s)adi}(t)A_{(b,s)adi}\left[y_{0,ad}(t)-y_{(b,s)adi}\right]-M(t)=0$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sigma_{(b,s)i}(t)A_{(b,s)i}+\sum_{i=1}^{n_{ad}}\sigma_{(b,s)adi}(t)A_{(b,s)adi}=0, \qquad (1)$$

$$\varepsilon_{(b,s)i}(t)=\varepsilon_{(b,s)i}(\bar{t})+\bar{\varepsilon}_{(b,s)i}(t),\ \varepsilon_{(b,s)adi}(t)=\bar{\varepsilon}_{(b,s)adi}(t),$$

где $\sigma_{(b,s)i}(t)$ - нормальные напряжения в *i*-той элементарной площадке бетона или арматуры основной части сечения, $\sigma_{(b,s)adi}(t)$ - то же, в $\bar{i}$-той элементарной площадке дополнительной части сечения, $\varepsilon_{(b,s)i}(t)$ - продольные относительные деформации *i*-той элементарной площадки бетона или арматуры основной части сечения, $\varepsilon_{(b,s)adi}(t)$ - то же, $\bar{i}$-той элементарной площадки дополнительной части сечения, $\bar{\varepsilon}_{(b,s)i}(t)$ - дополнительные относительные деформации i-той элементарной площадки бетона или арматуры от нагрузки после усиления, $A_{(b,s)i}$ и $y_{(b,s)i}$ - соответственно площадь сечения и расстояние от выбранной оси до центра тяжести *i*-той элементарной площадки бетона или арматуры основной части сечения, $A_{(b,s)adi}$ и $y_{(b,s)adi}$ - то же, $\bar{i}$-той элементарной площадки дополнительной части сечения, $y_{0,ad}(t)$ - расстояние от выбранной оси до центра изгиба сечения элемента после усиле-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ния, n - количество элементарных площадок бетона и арматуры в основной части сечения, n_{ad} - количество элементарных площадок бетона и арматуры в дополнительной части сечения, $M(t) = M(\bar{t}) + \Delta M(t)$, $M(t)$ - изгибающий момент от внешней нагрузки в момент времени t после усиления, $M(\bar{t})$ - изгибающий момент от внешней нагрузки в момент времени $\bar{t}$ при усилении, $\Delta M(t)$ - дополнительный изгибающий момент от внешней нагрузки после усиления в момент времени t.

Относительные деформации в элементарных площадках нормального сечения в момент времени t в основном и дополнительном сечении усиленного изгибаемого железобетонного элемента определяются из условий:

$$\varepsilon_{(b,s)i}(t) = \frac{1}{r_c}(t)\left[y_{0,c}(t) - y_{(b,s)i}\right] \quad \varepsilon_{(b,s)ad\,i}(t) = \frac{1}{r_{ad}}(t)\left[y_{0,ad}(t) - y_{(b,s)ad\,i}\right] \quad (2)$$

Величины $1/r_c(t), y_{0,c}(t)$ в формуле (2) представляют собой кривизну и расстояние от выбранной оси до центра изгиба основного сечения железобетонного элемента в момент времени t после усиления и могут быть вычислены из выражений:

$$\frac{1}{r_c}(t)y_{0,c}(t) = \frac{1}{r}(\bar{t})y_0(t) + \frac{1}{r_{ad}}(t)y_{0,ad}(t), \quad \frac{1}{r_c}(t) = \frac{1}{r}(\bar{t}) + \frac{1}{r_{ad}}(t), \quad (3)$$

где $1/r(\bar{t})$ - кривизна основного элемента при усилении в момент времени $\bar{t}$, $1/r_{ad}(t)$ - кривизна дополнительного элемента и приращение кривизны основного элемента после усиления.

В расчетной модели усиленного железобетонного элемента учет работы бетона на растяжение между трещинами и неравномерности деформирования бетона сжатой зоны по длине элемента после образования трещин также производится путем трансформирования по методу Н.И. Карпенко и Т.А. Мухамедиева [7] диаграммы растяжения арматуры растянутой зоны, диаграмм сжатия бетона и арматуры сжатой зоны для сечения с трещиной в диаграмму, в которой напряжения σ_s, $\sigma_{s,ad}$, σ_b, $\sigma_{b,ad}$ и σ_{sc}, $\sigma_{sc,ad}$ приняты для сечения с трещиной, а деформации ε_s, $\varepsilon_{s,ad}$, ε_b, $\varepsilon_{b,ad}$ и ε_{sc}, $\varepsilon_{sc,ad}$ - для среднего сечения в соответствии с гипотезой плоских сечений, т.е. скорректированы с учетом коэффициентов ψ_s, ψ_b.

Учет неравномерности высоты сжатой зоны по длине железобетонного элемента с трещинами на каждом этапе нагружения осуществляется переходом от среднего расчетного сечения к сечению с трещиной. Для сечения с трещиной осуществляется пересчет высоты сжатой зоны исходя из условий равновесия усилий и гипотезы плоских сечений для железобетонного элемента над трещиной. Уравнения напряженно-деформированного состояния нормального сечения с трещиной усиленного увеличением поперечного сечения изгибаемого железобетонного элемента имеют вид:

$$\frac{1}{r_{bc}}(t)\sum_{i=1}^{m} E_{(b,s)i}(t)A_{bi}\left|y_{0,bc}(t) - y_{(b,s)i}\right|^2 + \frac{1}{r_{bad}}(t)\sum_{i=1}^{m_{ad}} E_{(b,s)ad}(t)A_{bad}\left|y_{0,bad}(t) - y_{(b,s)ad\,i}\right|\cdot\left|y_{0,bc}(t) - y_{(b,s)i}\right|$$
$$+ \sum_{i=m+1}^{n}\sigma_s(t)A_{si}\left|y_{0,bc}(t) - y_{si}\right| + \sum_{i=m_{ad}+1}^{n_{ad}}\sigma_{s,adi}(t)A_{s,adi}\left|y_{0,bc}(t) - y_{s,adi}\right| - M(t) = 0,$$
$$\frac{1}{r_{bc}}(t)\sum_{i=1}^{m} E_{(b,s)i}(t)A_{bi}\left|y_{0,bc}(t) - y_{(b,s)i}\right| + \frac{1}{r_{bad}}(t)\sum_{i=1}^{m_{ad}} E_{(b,s)ad}(t)A_{bad}\left|y_{0,bad}(t) - y_{(b,s)ad\,i}\right| \quad (4)$$
$$+ \sum_{i=m+1}^{n}\sigma_s(t)A_{si} + \sum_{i=m_{ad}+1}^{n_{ad}}\sigma_{s,adi}(t)A_{s,adi} = 0,$$

$$\varepsilon_{(b,s)i}(t) = \frac{1}{r_{bc}}(t)\left[y_{0,bc}(t) - y_{(b,s)i}\right], \quad \varepsilon_{(b,s)ad\,i}(t) = \frac{1}{r_{bad}}(t)\left[y_{0,bad}(t) - y_{(b,s)ad\,i}\right]$$

$$\frac{1}{r_{bc}}(t) = \frac{\varepsilon_{b(y=h)1}(t)/\psi_b}{y_{0,bc}(t)}, \quad \frac{1}{r_{bad}}(t) = \left[\frac{1}{r_{ad}}(t)\right]\Big/\psi_b$$

где $\bar{\sigma}_{si1}(t), \bar{\sigma}_{s,adi}(t)$ - напряжения в стержнях арматуры основного и дополнительного сечения, пересекаемых трещиной; $\varepsilon_{b(y=h)1}(t)$ - относительные деформации крайнего сжатого волокна основной части, определяемые на предыдущем этапе при расчете среднего расчетного сечения с учетом трансформированных диаграмм; $1/r_{bc}(t), y_{0,bc}$ - соответственно кривизна основного сечения над трещиной и расстояние от принятой оси до линии, ограничивающей сжатую зону в основном сечении; $1/r_{bad}(t), y_{0,bad}$ - соответственно кривизна дополнительного сечения над

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

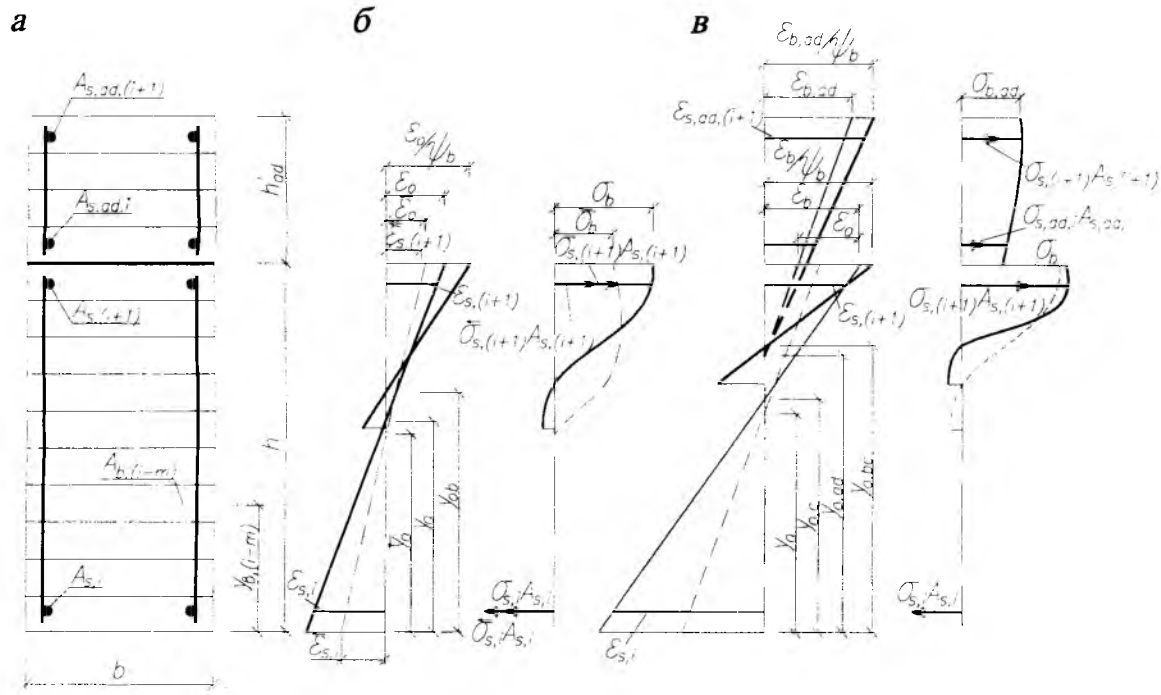


Рис. 1. Расчетное сечение изгибаемого железобетонного элемента при усилении наращиванием в сжатой зоне (а) и распределения деформаций и напряжений:
б - перед усилением;
в - после усиления под нагрузкой

трещиной и расстояние от принятой оси до линии, ограничивающей сжатую зону в дополнительном сечении.

На данном этапе расчета для основного и дополнительного сечения железобетонного элемента над трещиной используются диаграммы деформирования арматуры и бетона без учета коэффициентов ψ_s, ψ_b. Распределение относительных деформаций и напряжений в нормальном сечении усиленного изгибаемого железобетонного элемента приведено на рис.1.

При необходимости получения несущей способности усиленного элемента нагрузка ступенчато увеличивается. Максимальное усилие от внешней нагрузки, при котором выполняются условия (4) соответствует несущей способности усиленного элемента.

В нормальном сечении усиленного железобетонного элемента усадка бетона усиливающей части сдерживается арматурой усиления и самим железобетонным элементом, в результате чего и в арматуре, и в усиливаемом элементе уже в процессе усиления возникают дополнительные напряжения. Практический опыт устройства усиления конструкций железобетонными обоймами, наращиванием показывает, что при жестком контакте и малых значениях соотношения площадей поперечного сечения дополнительного бетона и усиливаемой конструкции возможно появление усадочных трещин, пронизывающих все сечение дополнительного бетона.

Условия деформирования кососжатого железобетонного элемента, усиленного под нагрузкой увеличением поперечного сечения, с учетом усадки бетона дополнительного сечения имеют вид

$$\varepsilon_{(b,s)i,j}(t)=\left(\frac{1}{r_c}(t)\right)_x\left|x_{0,c}(t)-x_{(b,s)i,j}\right|+\left(\frac{1}{r_c}(t)\right)_y\left|y_{0,c}(t)-y_{(b,s)i,j}\right|+\varepsilon_{lN}(t)+\varepsilon_{N,c,sh}(t)+\varepsilon_N(t),$$

$$\varepsilon_{(s,ad)i,j}(t)=\left(\frac{1}{r_{ad}}(t)\right)_x\left|x_{0,ad}(t)-x_{(s,ad)i,j}\right|+\left(\frac{1}{r_{ad}}(t)\right)_y\left|y_{0,ad}(t)-y_{(s,ad)i,j}\right|+\varepsilon_{N,c,sh}(t)+\varepsilon_N(t) \quad (5)$$

$$\varepsilon_{(b,ad)i,j}(t)=\left(\frac{1}{r_{ad}}(t)\right)_x\left|x_{0,ad}(t)-x_{(b,ad)i,j}\right|+\left(\frac{1}{r_{ad}}(t)\right)_y\left|y_{0,ad}(t)-y_{(b,ad)i,j}\right|+\varepsilon_{N,c,sh}(t)+\varepsilon_N(t)+\varepsilon_{b,ad,sh}(t)$$

Здесь $\left(\frac{1}{r_c}(t)\right)_x, \left(\frac{1}{r_c}(t)\right)_y$ - кривизны усиленного элемента в момент времени t после усиления от усадки дополнительного бетона и

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

продольного усилия $N(t)$ в плоскости соответственно оси x, y,

$\left(\frac{1}{r_{ad}}(t)\right)_x, \left(\frac{1}{r_{ad}}(t)\right)_y$ - кривизны дополнительного элемента в момент времени t после усиления от усадки дополнительного бетона и продольного усилия $N(t)$ в плоскости соответственно оси x, y,

$\varepsilon_{b,adyi}(t)$ - относительная деформация свободной усадки дополнительного бетона,

$\varepsilon_{lN}(\bar{t}), \varepsilon_{Nyc,ad}(t), \varepsilon_{N}(t)$ - относительные деформации элемента в центре изгиба сечения соответственно от продольного усилия при усилении в момент времени $\bar{t}$, от усадочных напряжений в момент времени t и от продольного усилия в момент времени t после приложения дополнительной нагрузки, определяются из следующих выражений:

$$\varepsilon_{lN}(\bar{t}) = \frac{N(\bar{t})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{(b,s)i,j}(\bar{t}) A_{(b,s)i,j}}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{Nyc,ad}(t) = \frac{\left[N(t) + \sum_{i=1}^{k_{ad}}\sum_{j=1}^{p_{ad}} \sigma_{b,adyi,j}(t) A_{b,adi,j}\right] - \varepsilon_{lN}(\bar{t}) \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{(b,s)i,j}(t) A_{(b,s)i,j}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{(b,s)i,j}(t) A_{(b,s)i,j} + \sum_{i=k_{ad}+1}^{n_{ad}}\sum_{j=p_{ad}+1}^{m_{ad}} E_{s,adi,j}(t) A_{s,adi,j}}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{N}(t) = \frac{\left[N(t) + \sum_{i=1}^{k_{ad}}\sum_{j=1}^{p_{ad}} \sigma_{b,adyi,j}(t) A_{b,adi,j}\right] - \left[\varepsilon_{lN}(\bar{t}) + \varepsilon_{Nyc,ad}(t)\right] \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{(b,s)i,j}(t) A_{(b,s)i,j}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{(b,s)i,j}(t) A_{(b,s)i,j} + \sum_{i=1}^{n_{ad}}\sum_{j=1}^{m_{ad}} E_{(b,s),adi,j}(t) A_{(b,s),adi,j}}$$

$$\frac{\varepsilon_{Nyc,ad}(t) \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{s,adi,j}(t) A_{s,adi,j}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E_{(b,s)i,j}(t) A_{(b,s)i,j} + \sum_{i=1}^{n_{ad}}\sum_{j=1}^{m_{ad}} E_{(b,s),adi,j}(t) A_{(b,s),adi,j}} \quad (8)$$

В случае образования трещин учет неравномерности высоты сжатой зоны по длине железобетонного элемента с трещинами на каждом этапе нагружения осуществляется переходом от среднего расчетного сечения к сечению с трещиной.

Работа усиленных железобетонных конструкций связана с перераспределением усилий в нормальном сечении, состоящим из двух составляющих с различными прочностными, деформационными и реологическими характеристиками материалов. При этом изменяется характер работы отдельных элементарных площадок сечения. Так при большой толщине наращивания в сжатой зоне при усилении под нагрузкой бетон сжатой зоны основного сечения при увеличении внешней нагрузки разгружается и может подвергаться растяжению. Сжатая зона усиленной под нагрузкой или с частичным разгружением может состоять из двух зон: в основном и дополнительном сечении. При усилении наращиванием в растянутой зоне с установкой дополнительной арматуры отдельные слои бетона вблизи нейтральной линии, испытывающие растяжение в момент усиления, при увеличении нагрузки после усиления начинают работать на сжатие.

Для описания зависимости $\sigma_b(t) = f[\varepsilon_b(t)]$ для бетона основного сечения после усиления используются с учетом ветвей разгрузки те же диаграммы деформирования при кратковременном нагружении и при новом режиме длительного нагружения. С момента усиления в расчет вводится новая зависимость, соответствующая этому режиму, относительные деформации ползучести которой согласно принципа суперпозиции получаются суммированием относительных деформаций ползучести, вызванных соответствующими приращениями напряжений, с относительными деформациями ползучести прежней зависимости, соответствующими суммарным напряжениям.

При инъецировании трещин полимерными составами приращение нагрузки после инъецирования до появления трещин меньше аналогичной нагрузки образования трещин. При высоких уровнях начальной нагрузки, при которых производится склеивание берегов трещин, расстояние между трещинами увеличивается, по сравнению с первоначальным трещинообразованием. Эффект усиливается с увеличением напряжений в арматуре при инъецировании и времени их выдерживания до инъецирования. Это объясняется нарушением сцепления арматуры с бетоном на участках между трещинами. В железобетонных элементах с инъецированными под нагрузкой трещинами новые трещины появляются в непосредственной близости от инъецированных.

Окончание см. в следующем номере.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Р.МОЙРЕР, А.Б.ЕЗДАКОВ (Ромэкс Гмбх); Е.А.ГУЗЕЕВ (НИИЖБ)

Восстановление трещиностойкости железобетонного технического перекрытия

Выставочный павильон "Форум" АО Экспоцентр построен в 1992 г. на Краснопресненской набережной Москвы-реки. Здание павильона — пирамида на квадратном плане со стороной 87,4 м; основные несущие конструкции сооружения возведены на свайном основании.

Техническое перекрытие в павильоне размером в плане 84х84 м воспринимает нагрузку экспонатов и обеспечивает их коммуникационное обслуживание в любой точке (вода, канализация, слаботочная и силовая сети). Перекрытие решено в виде двух железобетонных плит, между которыми расположена сеть каналов сечением 40...70х40 см с шагом 6 м. Шаг люков к коммуникациям тоже 6 м. Нижняя фундаментная плита толщиной 200 мм опирается на грунт через щебеночную подготовку. Верхняя плита толщиной до 100 мм опирается на бетонные стенки каналов.

Пространство между плитами и стенками каналов заполнено керамзитобетоном и керамзитовым гравием. По верхней плите уложен монолитный вакуумный пол из ферробетона (толщина слоя ферробетона 2,6...4,8 мм). Технологическая плита павильона разделена на четыре поля деформационными швами, размер поля 42х45 м.

В 1993 г. после года активной эксплуатации павильона на плоскости пола появились многочисленные трещины общей длиной более 2,5 км. Трещины имели ширину от 0,05 до 3,5 мм, глубину от 10 до 80 мм и диагональную ориентацию в пределах каждого поля.

Исследованиями технического состояния плиты при вскрытии участков перекрытия в зонах максимальных деформаций и раскрытий трещин установлено:

деформационные швы между полями плиты работают. На всей их длине имеют место подвижки, раскрытие и зажатие берегов;

между верхней плитой и слоем керамзитобетона имеются зазоры до 10 мм, локальные пустоты до 15...35 мм. В местах между трещинами с максимальным раскрытием более 1,2 мм участки плит вдавлены в керамзит;

влажность керамзита выше равновесной, на фундаментной плите обнаружен слой воды;

адгезия ферробетона к бетону плиты более 1,5 МПа, имеет место откол по телу бетона плиты. Коэффициент фильтрации ферробетона $K_ф$=4 10^{-7};

влажность бетона на нижней плоскости плиты более 16%, в зоне контакта бетона плиты и ферробетона влажность менее 5%;

трещины раскрытием более 1,8 мм — сквозные и являются каналами для увлажнения керамзита при мокрой уборке перекрытия;

раскрытие трещин летом меньше, чем зимой.

Из анализа полученных данных можно предположить, что трещины возникли в основном в период отопительного сезона вследствие температурных деформаций расширения плит и их вертикальных перемещений (вспучиваний). Это связано с давлением пара в подполье и возникновением разнозначных деформаций по толщине плиты (набухание на нижней плоскости, усадка на верхней). Последующие сосредоточенные нагрузки и возможность свободной деформации с обратным знаком плит в зонах пустот в подслое привели к разлому и образованию сквозных трещин.

Основываясь на результатах анализа состояния трещиностойкости пола и вероятных сезонных изменениях раскрытия трещин, для обеспечения эксплуатационной пригодности плиты перекрытия было принято решение организовать диагональные деформационные швы в каждом поле с шагом 6...12 м. Положение деформационных швов решено было определить по фактическим данным и применить для восстановления трещиностойкости плиты систему деформируемых высокоизносостойких полимерных композиций.

При решении этой технической проблемы фирма Ромэкс Гмбх предложила разделить ее на две части: восстановить сплошность плиты, заполнить трещины высокопрочным полимерным составом на основе эпоксидных смол и после некоторого периода эксплуатации плиты повторно зафиксировать положение трещин, возникающих от циклических температурно-влажностных и силовых воздействий. Для этого в этих зонах было решено нарезать деформационные швы шириной, которая необходима плите для ее работы. Деформации бетона между швами в основном перетекут в эти швы, а оставшиеся деформации погасятся в эластичном слое системы покрытия пола.

Толщина и деформируемость этого слоя должна быть достаточной для погашения упругой энергии, возникающей в вершине трещины в бетоне, а межслойная адгезия покрывного износостойкого слоя к эластичному должна быть не менее 0,7...0,8 МПа, что обеспечит растекание остаточной непогашенной энергии в системе. Таким требованиям отвечают полиуретановые материалы марок Ромпур 2605 (удлинения при разрыве пленки толщиной 1,2...1,8 мм свыше 200%) и Ромпур 2705 (сопротивление истиранию менее 10 мг/м^2 по ГОСТ 13087-95, а межслойная адгезия превышает 1,0 МПа).

Осенью 1994 г. фирма выполнила работы по восстановлению сплошности плиты эпоксидным материалом с низкой вязкостью, что обеспечило проникание полимера в трещины с раскрытием менее 0,2 мм. Предварительно из всех швов декоративной разрез-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ки пола механически удалили технический воск, поверхность ферробетона и трещин очистили дробью (установка Бластрак) и обеспылили. Выбоины, провалы, перепады высот и декоративные швы были прошпатлеваны составом на эпоксидном праймере, высушены, отшлифованы и обеспылены. Выровненная, обеспыленная поверхность была пропитана низковязким эпоксидным праймером Ромпокс 1505 и до момента отверждения полимера "по мокрому" наполнена прокаленным кварцевым песком. Зерна песка фракции 0,3...0,5 мм были втоплены в полимер на половину диаметра. Песок создает эффективную шероховатость и обеспечивает межслойное сцепление в покрытии пола.

В феврале 1995 г. восстановленную поверхность бетона плиты повторно освидетельствовали. На поверхности бетона были зафиксированы трещины диагонального направления с шагом 3,0...4,5 м и в линиях декоративной разрезки поля с шагом 3,2 м и 0,5 м. Общая протяженность трещин составила 2616 м, их раскрытие достигало 0,1 мм, и до 20% трещин оказались сквозными.

На основе анализа мест появления трещин установили оптимальное положение деформационных швов диагонального направления. В четырех плитах положение швов совпадало, расстояние швов от главной диагонали в основном составило по 12 м в обе стороны. Общая протяженность всех диагональных и контурных деформационных швов составила 915 пог.м. Геометрия деформационного шва: глубина 40...60 мм, ширина — 4...6 мм.

После нарезки, обеспылевания, обработки "берегов" эпоксидным праймером швы заполнили эластичным герметиком на основе однокомпонентного полиуретана. На подготовленную таким образом поверхность технологической плиты нанесли слой (1,2 мм) полиуретана Ромпур 2605 (эластичен в отвержденном состоянии) и слой (1,5 мм) полиуретана Ромпур 2705. Для придания полу декоративности на неотвержденное покрытие Ромпур 2705 "по мокрому" были напылены цветные чипсы. После отверждения покрытия Ромпур 2705 с чипсами на него нанесли прозрачный полиуретановый лак Ромпур 508 слоем толщиной 130...150 мкм (0,17 кг/м^2) и затем повторно еще слой матового лака толщиной 120...140 мкм. После отверждения лака пол павильона был окончательно покрыт двумя слоями технического воска.

Реализованный способ восстановления трещиностойкости плиты (применен в России впервые) в течение 3 лет обеспечивает в выставочном павильоне "Форум" эксплуатационные качества перекрытия и пола на уровне требований мировых стандартов при весьма высокой интенсивности нагрузки.

Государственным унитарным предприятием
Центр проектной продукции в строительстве

и з д а н ы

разработанные ЗАО "Концерн Цемент"
Государственные стандарты Российской Федерации

ГОСТ 1581–96	Портландцементы тампонажные. Технические условия
ГОСТ 26798.1–96	Цементы тампонажные. Методы испытаний
ГОСТ 26798.2–96	Цементы тампонажные типов I–G и I–H. Методы испытаний

ГОТОВЯТСЯ К ИЗДАНИЮ

ГОСТ 310.1–310.4–...	Цементы. Методы испытаний
ГОСТ 10178–...	Цементы общестроительные. Технические условия
ГОСТ 30515–97	Цементы. Общие технические условия
Новый ГОСТ Р...	Добавки минеральные к цементу
Новый ГОСТ Р...	Цементы низкой водопотребности. Технические условия
Новый ГОСТ Р...	Цементы для бетона дорожных и аэродромных покрытий

Заказы направляйте в Центр проектной продукции по адресу:
127238, Москва, Дмитровское ш., 46, корп.2
Тел. для справок: 482-4294, 482-4297
Факс 482-4265

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

К.А.ПИРАДОВ, Е.А.ГУЗЕЕВ, д-ра техн. наук, Т.Л.МАМАЕВ, канд.техн. наук, В.Р.ФАЛИКМАН, канд. хим. наук (НИИЖБ); Н.Ф.БАШЛЫКОВ, канд. техн. наук (ЗАО "Полимод")

Горельефы храма Христа Спасителя из армированного бетона со структурами, гарантирующими его долговечность более 100 лет

На фасаде строящегося в Москве храма Христа Спасителя планируется установка крупноразмерных скульптурных горельефов и композиций из железобетона. По архитектурной выразительности, структуре и цвету они просматриваются исключительно в телесной текстуре, которая наиболее полно передается в поровой структуре мелкозернистого специального бетона. Расположение скульптурных групп таково, что они систематически будут подвергаться естественным атмосферным воздействиям.

Храм Христа Спасителя является уникальным сооружением, символом православной духовности и культуры, поэтому наряду с эстетической выразительностью скульптурные элементы должны обладать определенным запасом долговечности, гарантирующим сохранность горельефов в течение как минимум 100 лет.

Важнейшим элементом общей долговечности конструкций храма является срок службы бетона. Поэтому необходимо выполнить расчет-прогноз долговечности бетона скульптурных композиций, дабы предварительно оценить целесообразность применения того или иного материала (бетона) при изготовлении горельефов.

Для этих целей в НИИЖБе в специальной опалубке-форме была отформована модель скульптуры Святой равноапостольной Великой княгини Ольги. Модель выполнена из высокопрочного и высокоплотного бетона состава Ц:П:Щ:В = 480:723:1120:149 кг; в состав введены тонирующий краситель (14,6 кг), замедлитель (2,0 кг) и пластификатор (2,0 кг). Бетон изготовлен на белом цементе датского производства прочностью 71,0 МПа; прочность бетона на сжатие составила 99,8 МПа.

Расчет-прогноз долговечности такого бетона выполнен на базе анализа микро- и макроструктуры кернов и образцов бетона, отобранных из модели скульптуры. На основании морфологического анализа структуры цементного камня (рис.1) принимаем следующее распределение пор, капилляров и других дефектов структуры по форме в матрице: круглые (фактор формы менее 0,4) — 55%; эллипсовидные (от 0,4 до 0,6) — 28% и трещиновидные (более 0,6) — 17%. Тогда, учтя наличие краевых трещин, количество заполнителя, содержание вовлеченого воздуха (3,1%) и пористость бетона, результаты морфологического анализа бетона (рис.2) и общий периметр зерен заполнителя (1,133 м),

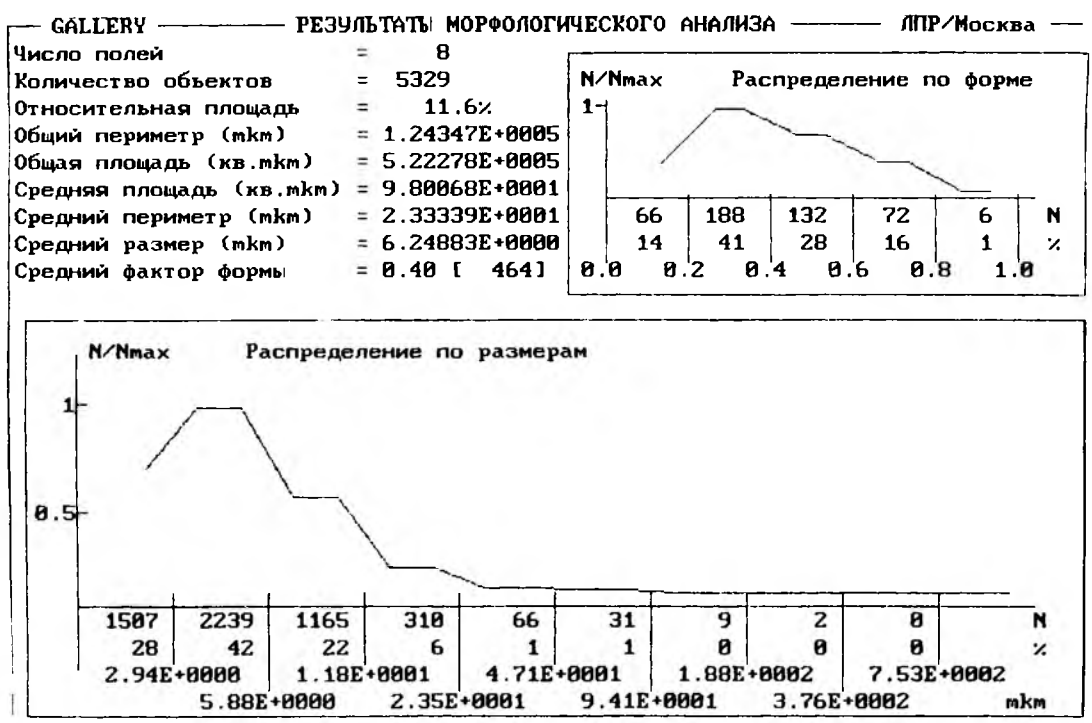


Рис. 1. Результаты морфологического анализа цементного камня

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Рис. 2. Результаты морфологического анализа фрагмента бетона скульптуры

окончательно примем следующее распределение пор и дефектов структуры в бетоне: замкнутые в цементном камне — 60%, в том числе круглые — 33%; эллипсовидные — 17%; трещиновидные — 10%; краевые — 11%; радиальные и контактные околозерновые — по 14.5%.

Средняя температура (T) в Москве: в зимнее время — 10°С, влажность бетона (W) 2.56%; летом +20°С, W = 1.12% [1]. Далее необходимо определить коэффициенты интенсивности напряжений при температурно-влажностных воздействиях в вершинах каждого из вышеперечисленных трещиновидных дефектов. В вершинах замкнутых дефектов цементного камня вычислим коэффициенты интенсивности напряжений по зависимости

$$K_1 = 4\sqrt{\pi}\cos\theta(7{,}6 - 0{,}02T) / \sqrt{l_1(1-0{,}25(1-0{,}01W)^2} + (0{,}0003 - 0{,}000008T)\Delta TE_{l(w)}\sqrt{\pi l_1}[1-(2/\pi)\arcsin(b_1/l_1)] + \alpha_{T,m}\Delta TE_m\sqrt{\pi l_1}, \quad (1)$$

где θ — угол смачивания; l_1 — длина замкнутого капилляра в цементном камне ($6{,}25\ 10^{-3}$ мм, см.рис.1); ΔT — разность температур в летний и зимний периоды; E — модуль упругости (i — льда, W — воды, m — цементного камня); $b_1 = l_1(1 - 0{,}01\ W)/2$; $\alpha_{T,m}$ — коэффициент линейного расширения цементного камня, принимаемый равным 11,5 10^{-6} 1/град. Тогда зимой $K^1_{1,w} = 0{,}132$ МПа м$^{1/2}$, летом $K^1_{1,s} = 0{,}093$ МПа м$^{1/2}$. Вычисленные по формулам механики разрушения [2] коэффициенты интенсивности напряжений для остальных дефектов структуры составят: для краевой трещины $K^2_{1,w} = 0.317$ МПа м$^{1/2}$ и $K^2_{1,s} = 0{,}212$ МПа м$^{1/2}$; для радиальной околозерновой $K^3_{1,w} = 4{,}03\ 10^{-10}$ МПа м$^{1/2}$ и $K^3_{1,s} = 4{,}02\ 10^{-5}$ МПа м$^{1/2}$; для контактной околозерновой $K^4_{1,w} = 3{,}34\ 10^{-5}$ и $K^4_{1,s} = 0{,}27$ МПа м$^{1/2}$. Таким образом, коэффициенты интенсивности напряжений при температурно-влажностном воздействии

$$\text{летом } K_{1,s} = \sum_{i=1}^{4} n_i K^i_{1,s} = 0{,}118 \text{ МПа м}^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{зимой } K_{1,w} = \sum_{i=1}^{4} n_i K^i_{1,w} = 0{,}110 \text{ МПа м}^{1/2}, \quad (3)$$

где n_i — количество того или иного трещиноподобного дефекта в общем количестве микро- и макроповреждений

Предельное значение коэффициента интенсивности напряжений

$$K^{cr}_{1c} = -0{,}015 + 0{,}001R_{ag} + 0{,}133\ Ц/В + 0{,}006R_c - 0{,}008W - 0{,}583K_{ag}, \quad (4)$$

где R_{ag} — прочность крупного заполнителя, R_c — активность цемента; K_{ag} — количество заполнителя (в плотном теле) на единицу объема бетона. Для заданного бетона R_{ag} = 90 МПа; Ц/В = 3,21; R_c = 70 МПа; K_{ag} = Щ $10^{-3}/\rho_{ag}$ = 0,5 l(ρ_{ag} — плотность гранитного щебня, определенная по результатам его испытаний, равна 2,64 г/см^3) и K^{cr}_{1c} =0,607 МПа м$^{1/2}$.

С учетом размаха величин коэффициентов интенсивности напряжений при температурно-влажностном воздействии в Москве определим время t, в пределах которого структурные параметры бетона принятого состава достигнут предельных значений

$$t = 2K^{cr}_{1c} \left| K_{1,w} - K_{1,s} \right| = 152 \text{ года}. \quad (5)$$

В пылевых выделениях и парогазовой среде Москвы преобладающими являются вещества, содержащие сернистые соединения, углекислоту, хлориды и др. При наличии высокой влажности среды (в пределах 54–85%) в районе Москвы в структуре бетона возможно развитие процессов образования гидрокарбоната кальция, уплотняющего структуру бетона. Однако на поверхности бетона целесообразно

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

устранить подобные процессы путем гидрофобизации поверхности горельефов кремнеорганическими растворами.

Ветровая нагрузка, безусловно, уменьшит долговечность поверхностного слоя структуры бетона горельефов. Максимальная средняя скорость ветра в районе храма Христа Спасителя — 4,9 м/с. Тогда коэффициенты интенсивности напряжений от действия внешней силовой нагрузки составят: для круглых замкнутых трещин $K_{1,1} = A\sigma_в\sqrt{\pi l_1(1+d/l_1)}$; для эллипсовидных $K_{1,2} = B\sigma_в\sqrt{\pi(a+l_2)}$; для трещиновидных $K_{1,3} = C\sigma_в\sqrt{\pi l_3}$; для краевых $K_{1,4} = Д\sigma_в\sqrt{\pi l_4}$ и для околозерновых $K_{1,5} = E\sigma_в\sqrt{\pi l_5/2}$. Здесь $\sigma_в$ — напряжения в бетоне, определяемые методами строительной механики; А, В, С, Д, Е — коэффициенты, зависящие от количества того или иного дефекта в общем количестве повреждений (33, 17, 10, 11 и 29% соответственно); l_1–l_5 — размеры дефектов, принимаются: l_1–l_3 — по рис.1, l_4 и l_5 — по расчету; d — диаметр круговой поры.

Тогда коэффициент интенсивности напряжений от силовой нагрузки

$$K_I = \sum_{i=1}^{5} K_{Ii} = 0{,}117 \text{МПа м}^{1/2}, \qquad (6)$$

а долговечность бетона с учетом ветрового воздействия

$$t = 2(K_{Ic}^{cr} - K_I)/\left| K_{I,w} - K_{I,s} \right| = 122{,}5 \text{ года}. \qquad (7)$$

Таким образом, ветровая нагрузка уменьшает долговечность бетона на 29,5 лет.

Библиографический список

1. СНиП II-А.6-72. Строительная климотология и геофизика. М.: 1973, 320 с.

2. Гузеев Е.А., Леонович С.Н., Милованов А.Ф., Пирадов К.А., Сейланов Л.А. Разрушение бетона и его долговечность. — Минск: Тыдзень, 1997. — 170 с.

В.Л. ЧЕРНЯВСКИЙ, д-р техн.наук, проф. (Харьковский ПромстройНИИпроект)

О практическом использовании адаптационных свойств бетона

Расширяя методические границы структурно-функциональной адаптации цементного бетона [1] в практических приложениях, рассмотрим ее основные компоненты. Напомним, что адаптация по определению связана со структурно-функциональной изменчивостью объекта в среде и направлена на поддержание его внутреннего состояния и потребительских свойств в некоторых удовлетворительных пределах.

Адаптацию бетона (рис.1) формируют процессы первой группы, связанные с его толерантностью (терпимостью) к внешней среде, и процессы второй группы, определяемые его индифферентностью (невосприимчивостью) к таковой. Особенность процессов первой группы заключается в снижении чувствительности бетона к чужеродным возмущениям (так называемым "агрессивным воздействиям") и специфической терпимостью к ним в связи с изменением внутренней среды бетона. Характер второй группы связан с невосприимчивостью к таким возмущениям (воздействиям) за счет сохранения некоторого уровня внутренней среды бетона. Учитывая особенности состояния внутренней среды бетона в каждой группе указанных процессов, можно считать, что эффективность первой группы обеспечивается первичной защитой конструкций из бетона, определяемой собственно его свойствами, а эффективность второй группы — вторичной защитой, например, специальными покрытиями [2].

При выборе противокоррозионной защиты строительных конструкций существуют две возможности оградить бетон от влияния изменений во внешней среде: первая — назначить защиту, гарантирующую "полную" неизменность внутренней среды бетона; вторая — применить тактику, допускающую некоторое изменение его внутренней среды за счет толерантности бетона как первичной защиты. Первый вариант, как правило, экономически выгоден для специфических, часто наблюдаемых, конструкций, рассчитанных на безремонтную эксплуатацию. Второй вариант, как показал опыт эксплуатации строительных конструкций в неконтролируемых и часто непредсказуемых средах (например, грунтовые, морские, технические воды и растворы), в настоящее время продолжает вызывать пристальное внимание исследователей. Прежде всего это касается рецептуры и оптимальной тонины цемента, добавок, вводимых в воду затворения, либо специальной обработкой заполнителя, а также пропиточных композиций для бетона в защитном слое строительных конструкций. В результате таких мероприятий может быть достигнута определенная устойчивость бетона к агрессивным воздействиям, которую следует представлять как слабую зависимость от внешней среды.

Ранее нами [3] предполагалось, что введение в бетонную смесь химических соединений, которые включают одноименные с содержащимися в эксплуатационной среде ионы, может служить основанием для осуществления нового подхода к выбору добавок. Такие добавки должны способствовать образованию в структуре цементного камня "модифицированных гидратов" [1], более коррозионностойких, чем традиционные.

До последнего времени мало кто обращал внимание на эту сторону гидратационного структурообразования цементных материалов. Однако имеются данные о значительной сульфатостойкости бетона с повышенным содержанием добавки сульфата натрия [4], "позитивном эффекте коррозии" [5]. Общеизвестны способы повышения коррозионной стойкости бетона путем его обработки углекислым и сернистым газами. Можно предположить значительную сульфатостойкость бетона на основе цементов с повышен-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Рис.1. Блок-схема адаптации цементного бетона

ным (до 50% в клинкере) содержанием сульфоалюминатов кальция [6], а также эффективность использования в качестве затворителя морской и болотной вод для обеспечения коррозионной стойкости бетона в соответствующих условиях эксплуатации. До сих пор не вызывает серьезных возражений высказанное ранее [2] мнение о положительной роли цементных (клинкерных, пуццолановых, шлаковых, зольных и др.) реликтовых зерен в формировании адаптивности бетона.

Остановимся на некоторых примерах адаптивности цементного камня (бетона), сформированной на ранних стадиях твердения (табл.1).

Опыты по коррозионным испытаниям в сульфатосодержащих растворах цементного бетона на портландцементе различной степени гидратации показали, что с увеличением степени гидратации от 0,6 до 0,8 и далее стойкость образцов резко уменьшается. Интенсивная тепловая обработка не способствует обеспечению стойкости цементного бетона, так как при ней вокруг зерен вяжущего образуются гидратные оболочки с низкой проницаемостью, что затрудняет доступ жидкой фазы к негидратированной части зерен в дальнейшем.

С целью повышения устойчивости цементного бетона в сульфат-хлорид-карбонатной (бикарбонатной) среде типа грунтовых вод нами [7] предложена добавка в бетонную смесь, включающая сульфат, хлорид и бикарбонат натрия в количестве до 1% массы цемента. Образцы из бетона марки по водонепроницаемости *W*4 нормального твердения на низкоалюминатном портландцементе с указанной добавкой характеризуются более высоким коэффициентом стойкости, чем контрольные (без добавки).

Образование модифицированных гидратов на ранних стадиях твердения может быть осуществлено не только введением соответствующих добавок в бетонную смесь, но и путем поверхностной пропитки свежеизготовленного бетона растворами, содержащими ионы, одноименные с имеющимися во внешней среде. Пропитка бетонных образцов водными растворами сульфата аммония или хлорида бария [8] заметно повышает коэффициент стойкости. При этом показатель капиллярного водопоглощения пропитанных и непропитанных образцов был на уров-

Таблица 1

Характеристика материала	Вид действующей среды	Коэффициент стойкости $K_{ст}$ (180)[1] при степени гидратации		
		0,4	0,6	0,8
Цементный камень нормального твердения из:	Водный раствор сульфата натрия			
портландцемента;		1,0	0,9	0,1
шлакопортландцемента		1,2	1,1	0,4
Цементный камень после тепловлажностной обработки из:	То же			
портландцемента,		0,8	0,6	—
шлакопортландцемента		0,95	0,75	—
Цементный бетон на портландцементе:	Водный раствор			
без добавки;	сульфата, хлорида,	0,6	0,45	0,3
с добавкой Na_2SO_4 ;	бикарбоната натрия	0,7	0,6	—
с добавкой (Na_2SO_4+NaCl+$NaHCO_3$)		0,95	0,8	0,55
Цементный бетон на портландцементе:	Водный раствор			
с пропиткой раствором $(NH_4)_2SO_4$;	сульфата натрия	0,7	0,55	—
с пропиткой растворами $(NH_4)_2SO_4$, $BaCl_2$		0,85	0,7	—
Цементный камень нормального твердения из:	То же			
портландцемента;		1,0	0,8	0,2
то же, замороженный на первые сутки твердения[2]		1,15	0,9	0,35

Примечания. 1. Коэффициент стойкости через 180 сут воздействия агрессивной среды.

2. Образцы находились при температуре –20°С в течение первых суток после формования, а затем твердели в нормальных условиях.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 2

Цемент	Содержание минералов, %			
	C_3S	C_2S	C_3A	$C_xA_yF_x$
Николаевский	54,7	20,3	9,3	11,2
Балаклейский	61,7	18,6	5,9	11,5
Амвросиевский	54,8	27,2	4,9	10,1

не 4,6...4,8%, так что эффект кольматации вряд ли является причиной увеличения коррозионной стойкости бетона.

Если модифицирование структуры бетона при его пропитке растворами сульфата аммония и хлорида бария связано с осаждением в его капиллярно-поровом пространстве двуводного гипса и практически нерастворимого в воде сульфата бария, то эффект повышения сульфатостойкости бетона, пропитанного одним лишь раствором сульфата аммония, может быть объяснен не только осаждением в порах и капиллярах двуводного гипса. При исследовании системы CaO-$(NH_4)_2SO_4$-H_2O в области высоких концентраций $(NH_4)SO_4$ был обнаружен аммонийсингенит $CaSO_4(NH_4)_2SO_4 4H_2O$ [9] и высказано предположение, что в пограничном слое жидкости может происходить пересыщение по твердой фазе ($CaSO_4$) продуктов реакции с выделением кристаллов этой сложной соли.

Повышение концентрации ионов SO_4^{2-} за счет внешней среды в жидкой фазе цементного камня подавляет диссоциацию этого комплекса. Вообще осадки-модификаторы должны характеризоваться пониженной растворимостью как в щелочных, так и в слабокислых растворах, поскольку в структуре цементного камня, соприкасающегося с водной средой, существует значительный градиент концентрации водородных ионов. Расчеты показывают, что растворимость карбоната кальция в значительной степени зависит от величины водородного показателя и изменяется при нормальной температуре от 10^{-4} моль/л при pH=12 до 10^{-2} моль/л при pH=7. Более предпочтительным, с точки зрения формирования адаптационных свойств, для цементного бетона является гипс, поддерживающий постоянный уровень растворимости (10^{-2} моль/л) в очень широком диапазоне pH (от 4 до 12). Последнее характерно для подавляющего большинства природных и техногенных сульфатосодержащих сред.

Некоторое увеличение стойкости цементного камня, подвергавшегося в ранний период структурообразования действию отрицательных температур, может быть объяснено образованием в нем при таком воздействии стабильной формы трехсульфатного гидросульфоалюмината кальция [10]. Соответственно обеспечивается повышенная склонность к адаптации предварительно охлажденного бетона по сравнению с нормально твердевшим.

В Харьковском ПромстройНИИпроекте завершены почти десятилетние опыты по оценке действия сульфатосодержащих водных растворов на тяжелый бетон классов по прочности В15...В40 и марок по водонепроницаемости *И*2...*И*8. Результаты испытаний образцов бетонов марки по водонепроницаемости *И*4, изготовленных на портландских цементах различного минерального состава (табл.2), приведены на рис.2.

Видно, что при сравнительно малых концентрациях сульфат-ионов в воде–среде прочностные свойства исследуемых бетонов стабилизируются не изменяясь, либо незначительно снижаясь по сравнению с начальными значениями R_0 (см. кривые 1...6 на рис.2).

Эти значения концентраций сульфат-ионов в несколько раз превышают пороговые, оговоренные главой СНиП 2.03.11-85 для воды-среды слабой степени агрессивности по отношению к бетонам, изготовленным на соответствующих ГОСТ 10176-76 и ГОСТ 22266-76 портландцементах. Заметим, что среды указанной степени агрессивности характерны не менее чем для половины территории

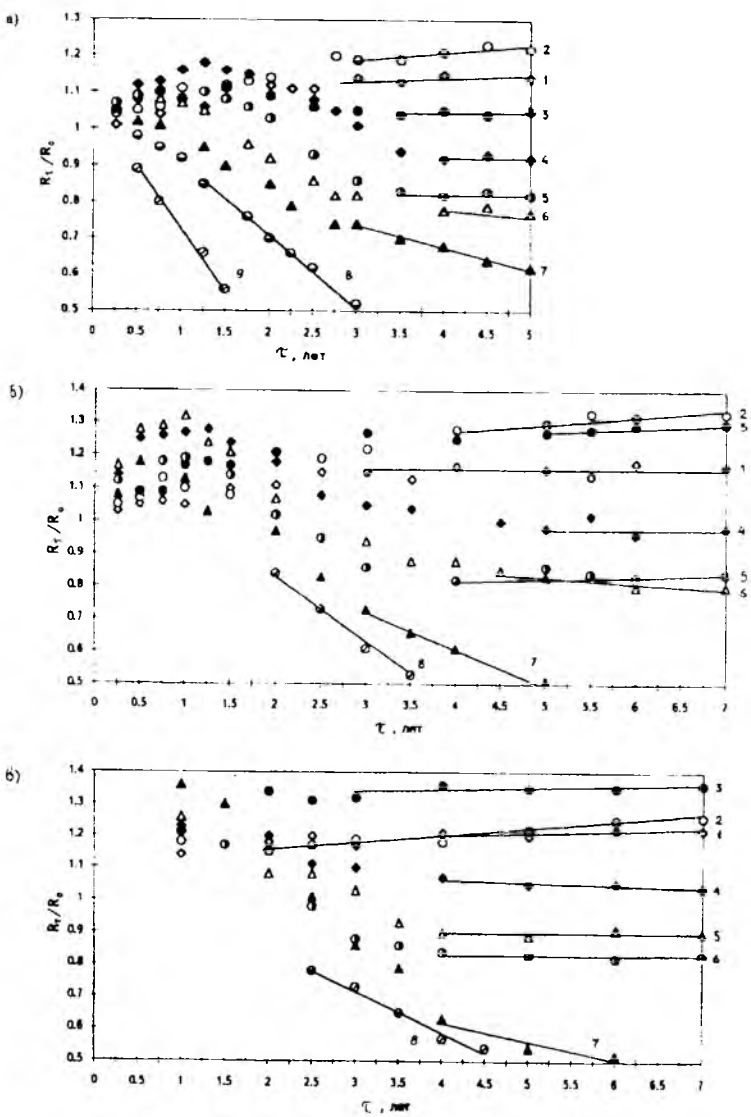


Рис.2. Изменение относительной прочности бетонов на Николаевском (а), Балаклейском (б), Амвросиевском (в) цементах в условиях действия водопроводной воды (1), водных растворов, содержащих ионы SO_4^{2-} в мг/л: 300 (2), 500 (3), 800 (4), 1000 (5), 1200 (6), 1500 (7), 3000 (8), 4000 (9), 6000 (10), 8000 (11), 10000 (12), 12000 (13), 15000 (14)

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Таблица 3

Степень агрессивности воздействия воды–среды на бетон марки по водонепроницаемости W4	Содержание сульфат-ионов (мг/л) в воде–среде для бетонов на цементах ($K_ф$<0,1 м/сут, НСО — 0...3 мг-экв/л)		
	Рядовой портландцемент (ГОСТ 10176-76)	Портландцемент, содержащий в клинкере C_3S≤ 65%, C_3A≤ 7%, C_3A+C_4AF≤ 22% (ГОСТ 10178-76)	Сульфатостойкий цемент (ГОСТ 22266-76)
Слабая	1000...1200	3000...4000	6000...8000
Средняя	1200...1500	4000...6000	8000...12000
Сильная	Свыше 1500	Свыше 6000	Свыше 12000

бывшего СССР, где располагаются объекты строительства.

Фазовый рентгеновский и оптико-микроскопический анализы* показали довольно интенсивное за первые 2...3 года увеличение содержания продуктов коррозии в цементном камне испытанных бетонов, а затем лишь несущественное изменение количества этих продуктов на фоне продолжающейся гидратации клинкерных остатков. Этим условиям соответствуют кривые, расположенные выше порогового значения $R_т/R_о$=0,7.

Из приведенной на рис.2 динамики относительной прочности бетонов легко видеть, что поля направлений для векторного дифференциального уравнения $\frac{d}{d_т}(R_т/R_о) = f(R_т/R_о, \alpha, т)$ топологически совместимы. В этом уравнении компонента вектора — параметра α определяется величиной концентрации сульфат-ионов в воде-среде, длительно действующей на каждый из рассмотренных бетонов. Физической основой этого может служить проявление адаптационных возможностей бетона, существенно зависящих при прочных равных условиях от минерального состава использованного цемента.

На основании анализа и обобщения результатов лабораторных исследований, а также обследования эксплуатировавшихся строительных конструкций из бетонов различных марок по водонепроницаемости, изготовленных на цементах, выпускаемых в России и в Украине, предлагается внести изменения в показатели степени агрессивного воздействия водных растворов (СНиП 2.03.11-85, табл.3).

В табл.3 приведены пороговые значения концентрации сульфат-ионов (мг/л) в воде-среде для бетонов (на различных видах цемента) нормальной проницаемости ($W4$) при $K_ф$<0,1 м/сут и содержании бикарбонат-ионов в воде–среде менее 3 мг-экв/л. Такой подход в практическом использовании адаптационных свойств цементных бетонов может существенно снизить требования в противокоррозионной защите строительных конструкций, эксплуатирующихся в жидких средах природного и технического происхождения. Это может оказаться экономически полезным при разработке соответствующих нормативных документов стран СНГ, на территории которых ранее действовала глава СНиП 2.03.11-85 "Защита строительных конструкций от коррозии".

*Физико-химические исследования выполнены под руководством д-ра техн. наук А.Г.Ольгинского.

Библиографический список

1. Чернявский В.Л. Об адаптации цементного бетона к действию внешней среды//Бетон и железобетон. — 1994. — № 4. — с. 7–10.

2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. — М.: Стройиздат, 1980. — 536 с.

3. Чернявский В.Л. О сопротивляемости цементного бетона действию внешней среды Изв. ВУЗов. Строительство и архитектура. — 1991. — № 3. — с. 56–60.

4. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. — М.: Стройиздат, 1983. — 212 с.

5. Соломатов В.И., Федорцев А.П. Позитивный эффект коррозии полимербетонов/ Бетон и железобетон. — 1981. — № 2. — с. 20–21.

6. Taylor H.F.M. Cement Chemistry. — london: Academ Press. 1990. — 339 p.

7. Маркина Г.К., Чернявский В.Л Бетонная смесь/ А.С. 1315420 (СССР). — Опубл. в БИ № 21.

8. Чернявский В.Л. Повышение антикоррозионных свойств бетона. — Киев: Будивэльник, 1983. — 88 с.

9. Чепелевецкий М.Л., Брунцус Е.Б., Краснов К.С. и др. Скорость растворения минералов как свойства многокомпонентных солевых систем//Журнал неорг. химии, 1956. — т.1. — вып.7. — с. 1512–1522.

10. Мчедлов-Петросян О.П., Чернявский В.Л. Структурообразование и твердение цементных паст и бетонов при пониженных температурах. Киев: Будивэльник, 1974. — 112 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

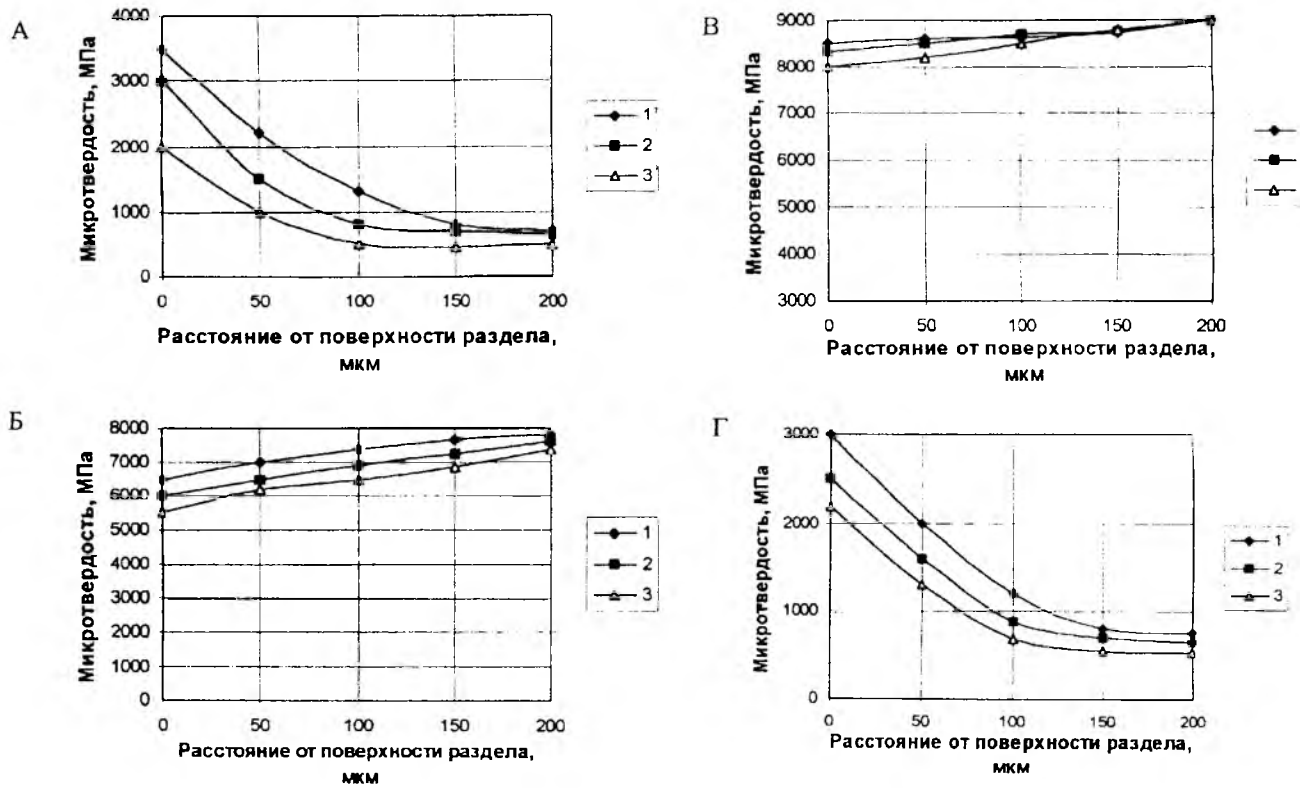
З.А.ЕСТЕМЕСОВ, д-р техн. наук, А.С.КУРТАЕВ, канд. техн. наук, М.З.ЕСТЕМЕСОВ, инж. (НИИстромпроект, Алма-Ата)

Контактная зона мелкозернистого бетона на основе гранулированного шлака

Известно, что прочность бетонов на основе природных песков, как правило, значительно выше прочности бетонов на гранулированных доменных шлаках. Однако в работах [1...3] отмечено, что шлакобетон на основе гранулированного доменного шлака имеет повышенную прочность и морозостойкость, пониженную усадку и ползучесть.

В настоящей работе исследована контактная зона бетонов на основе гранулированного доменного шлака Карагандинского металлургического комбината и шлакопортландцемента М400 Карагандинского цементного завода, фосфорношлакового и доменношлакового вяжущих, акти-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru



Распределение микротвердости по глубине контактной зоны на границе вяжущего и заполнителя в мелкозернистом бетоне

А и Б — соответственно цементный камень и граншлак; В и Г — соответственно цементный камень и песок
1 — фосфорношлаковое вяжущее; 2 — доменношлаковое вяжущее; 3 — шлакопортландцемент

визированных 4% Na_2SO_4+2% цемента.

Образцы размером 7x7x7 см состава 1:3 (цемент: заполнитель граншлак) пропаривали при 95°С по режиму 3+10+3 ч, а затем они твердели в

теля для бетона, мас.%: SiO_2 — 37,6; Al_2O_3 — 11,2; Fe_2O_3 — 0,83; CaO — 45,3; MgO — 1,58; MnO — 0,5; TiO_2 — 0,9; SO_2 — 2,17. Гранулированный доменный шлак преимущественно состоит из стекла (70...90%) геленито-

глубине контактной зоны на границе вяжущего с гранулированным доменным шлаком и полевошпатовым песком в мелкозернистом бетоне приведено на рисунке. Из него видно следующее.

Составляющие граншлака	Заполнитель			Шлакопортландцемент			Толщина контактной зоны, мкм
	микротвердость, МПа		толщина контактного слоя, мкм	микротвердость, МПа		толщина контактного слоя, мкм	
	в контактном слое	в объеме		в контактном слое	в объеме		
Стекловидное	6200/21	7800	120	2000	800	90	210
Геленит (кристалл)	5800/15	6750	48	1500	800	15	63
β –C_2S	3100/36	4800	73	2000	800	38	111
$CaCO_3$	1330/26	1800	100	1730	800	73	173

Примечания. 1 — нагрузка на пирамиду 50 г;
2 — значение микротвердости округлено;
3 — после черты — уменьшение микротвердости в %

нормальных условиях в течение 28 сут, после чего из них готовили аншлиф. Последний исследовали при помощи прибора ПМТ-3; пробы подвергались также петрографическому и электронномикроскопическому анализам.

Химический состав граншлака, использованного в качестве заполни-

во-мелилитового состава. Кристаллическая часть шлака представлена геленитом ($2CaO\ Al_2O_3\ SiO_2$), окерманитом ($2CaO\ MgO\ SiO_2$), двухкальцевом силикатом (β–$2CaO\ SiO_2$ и γ -$2CaO\ SiO_2$) и кальцитом ($CaCO_3$).

Распределение микротвердости по

Контактные слои в цементном камне имеют микротвердость в пределах 2100...3500 МПа. При этом контактные слои с граншлаком имеют несколько повышенную прочность, нежели с песком, что объясняется физико-химическим взаимодействием поверхности граншлака с цементным

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

камнем, тогда как между поверхностью песка и цементного камня происходит лишь механическое взаимодействие (адгезионное сцепление).

Микротвердость цементного камня в объеме (<1000 МПа) значительно ниже микротвердости контактного слоя. Заполнители в последнем имеют наоборот более низкую прочность, чем в объеме. Установлено, что в контактном слое наблюдается значительное снижение прочности у граншлака по сравнению с песком.

Наибольшей микротвердостью в бетонах обладает фосфорношлаковое вяжущее, наименьшей — шлакопортландцемент. Повышенная прочность первого в контактных зонах бетона обусловлена преимущественным образованием низко основных гидросиликатов кальция при гидратации этого вяжущего. Относительно пониженная прочность шлакопортландцемента в контактных слоях объясняется образованием при его гидратации низко прочных гидратных фаз (извести, гидроалюминатов и высокоосновных гидросиликатов кальция).

Более детальное исследование показало, что физико-механические свойства контактной зоны во многом зависят от вида составляющих заполнителя — гранулированного шлака (см.таблицу).

Микротвердость заполнителя в объеме колеблется в пределах 1800...7800 МПа. При этом микротвердость составляющих граншлака уменьшается в ряду: стекло>геленит> β–C_2S>$CaCO_3$. В контактном слое заполнитель характеризуется пониженной прочностью по сравнению с прочностью в объеме. Это свидетельствует об ослаблении поверхности заполнителя в результате взаимодействия с гидратированным вяжущим. Понижение прочности составляющих заполнителя располагается в ряду: β–C_2S>$CaCO_3$>стекло>геленит. Толщина контактного слоя находится в пределах 48...120 мкм. Установлено, что наибольшая толщина контактного слоя наблюдается у стекла и кальцита, наименьшая — у белита и геленита.

Микротвердость цементного камня в объеме составляет 800 МПа, в контактном слое колеблется в пределах 1330...2000 МПа. При этом наибольшей прочностью обладает контактный слой в цементном камне на границе со стеклом и белитом, наименьшей — на границе с кальцитом и геленитом. Толщина контактного слоя с цементном камне несколько меньше, чем в заполнителе, и находится в пределах 15...90 мкм.

Интересен тот факт, что с уменьшением степени взаимодействия составляющих граншлака с цементным камнем уменьшается и толщина контактного слоя. Например, на границе фазы геленит — цементный камень размеры контактных слоев и контактной зоны соответственно составляют 48, 15 и 63 мкм, а на границе фазы стеклоцементный камень — 120, 90 и 210 мкм.

Установлено взаимодействие между стекловидным зерном заполнителя с цементным камнем. Фиксируются три вида взаимодействия: глубокое, поверхностное и контактное. Независимо от вида взаимодействия в контактной зоне преимущественно аккумулируются волокнистые гидратные фазы, способствующие повышению прочности контактных слоев. Наблюдается эпиталционное (поверхностное) и эндотакционное (объемное) взаимодействие составляющих контактной зоны путем закономерного срастания, врастания, прорастания (и их комбинаций) кристаллов. Встречается механическое переплетение новообразований, которое сформировано адсорбционным взаимодействием.

Таким образом, повышенная прочность шлакобетона обусловлена физико-химическим взаимодействием и когезионным сцеплением поверхности составляющих граншлака с цементным камнем.

Библиографический список

1. **Изготовление** высокопрочного мелкозернистого шлакобетона. Н.И.Федынин, М.И.Диамант, Ю.М Седельницкий, Г.И.Кипекетуль. Кемерово, 1971, 69 с.

2. **Н.И.Федынин, М.И.Диамант**. Высокопрочные мелкозернистые шлакобетоны. М.: Стройиздат, 1975, 177 с.

3. **А.С.Куртаев, З.А.Естемесов**. Композиционные материалы на основе неорганических вяжущих веществ. Алма-Ата, 1998, 201 с.

16–й международный Конгресс по сборному железобетону

24–29 мая 1999 г. в Венеции состоится 16-й международный Конгресс по сборному железобетону. На нем планируется обсудить группу проблем, представляющих несомненный интерес для отечественной стройиндустрии, среди которых следует отметить:

- ❖**Железобетон и окружающая среда**
- ❖**Новые эффективные виды бетонов**
- ❖**Новые технологии производства сборного железобетона**
- ❖**Сборный железобетон в архитектуре**
- ❖**Новые строительные системы из сборного железобетона**
- ❖**Проблемы стандартизации**
- ❖**Экономика и маркетинг сборного железобетона**

Параллельно с Конгрессом пройдет также обширная выставка новых технологий и оборудования.

Заявки на участие следует направлять по адресу: BIBM 99 MGR Congressi; Via Servio Tullio, 4, 1–20123 Milano; FAX 39 2 480 084 71. Или в Межрегиональную Ассоциацию "Железобетон": 109428, Москва, 2-я Институтская, 6, президенту Ассоциации проф. К.В.Михайлову; ф (095) 174-77-24.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

К.А.ОЛЕХНОВИЧ, д-р техн. наук (Полтавский государственный у-т)

Динамические возможности и потребительские качества виброформовочных устройств

Основным технологическим оборудованием на заводах ЖБИ и КПД в ближайшие годы должны, видимо, остаться виброплощадки различной грузоподъемности, обеспечивающие качественное формование изделий широкой номенклатуры по гибкой технологии. В этом случае все дополняющее технологическое оборудование и основной парк форм могут быть использованы по прямому назначению без существенных переделок. Внедрение других альтернативных технологий вызовет неоправданные, трудно осуществимые затраты по переоснащению всего производства.

После четырех десятилетий поисков (1955–1995 гг.) по созданию рациональных конструкций отечественных виброплощадок нет необходимости дальнейшего сохранения их необоснованного многообразия. Целесообразнее использовать все возможные резервы наиболее перспективных технических решений, проверенных на практике, и на их базе отработать оптимальные технологические регламенты производства сборного железобетона.

По нашему мнению, для модернизации и развития формовочных постов заводов ЖБИ и КПД из всего множества вибромашин достаточно использовать только три типа виброплощадок, которые хорошо зарекомендовали себя на производстве: виброплощадки типа ВПГ, виброударные виброплощадки "на упругих прокладках" и ударно-вибрационные установки типа УВУ. Базой для сопоставления их динамических возможностей и потребительских качеств могут быть приняты блочные виброплощадки типа СМЖ-200, которые серийно выпускались до 1992 г. и составляли большую часть формовочного оборудования на предприятиях сборного железобетона бывшего Союза и некоторых стран Восточной Европы [1]. Основными критериями для указанного сравнения могут служить их технологическая эффективность, удельная металлоемкость и удельное энергопотребление. А в качестве аналитической оценки сравнительной технологической эффективности удобно принять генерируемую названными виброустройствами удельную мощность динамического воздействия.

Как известно, блочные виброплощадки реализуют вертикально направленные гармонические зарезонансные колебания за счет сложной системы принудительной синхронизации. Заманчивая на первый взгляд идея магнитного крепления форм на практике проявлялась недостаточной надежностью и вызвала их утяжеление ввиду необходимости присоединения к ним массивных подмагнитных плит. Компоновка виброплощадок нужной грузоподъемности из 8 или 16 виброблоков привела к неоправданно большому числу узлов и комплектующих изделий. Достаточно упомянуть, что, например, виброплощадка СМЖ-200 грузоподъемностью 15 т включает 56 подшипников, 21 карданный вал, 4 редуктора-синхронизатора, 64 пружины и звукоизолирующий кожух. После первых 3 мес. эксплуатации она требует непрерывного ремонта. Установленная мощность (более 90 кВт) используется в основном для запуска сложной вибросистемы.

Удельная мощность динамического воздействия (м.д.в.) гармонических вертикально направленных колебаний (как работа сил инерции колеблющейся приведенной массы) за ту часть периода, когда бетонная смесь испытывает деформацию сжатия, отнесенная к единице приведенной массы, в этом случае равна [2]

$$N_o^{гар} = \frac{(me)^2 \omega^3}{2\pi M_n^2} = \frac{\alpha^2 \omega^3}{2\pi}, \quad (1)$$

где me — суммарный статический момент дебалансов вибровозбудителей; ω — угловая скорость вынужденных колебаний; M_n — приведенная колеблющаяся масса; a — амплитуда виброперемещений.

В производственных условиях при a=0,35 мм и ω =300 рад/с м.д.в. составляет 0,525 Вт/кг, а рекомендуемому режиму вибрации в лабораторных условиях по ГОСТ 10181.1-81 (a=0,5 мм и ω =300 рад/с) соответствует м.д.в. — 1 Вт/кг.

Первый и второй режимы создают сверхнормативный производственный шум и требуют защитных мероприятий. Неудовлетворительные эксплуатационные качества блочных виброплощадок, реализующих эти режимы вибрации, побуждали изобретателей и рационализаторов разрабатывать другие многочисленные типы виброплощадок вместо серийно поставляемого оборудования [3].

Виброплощадки типа ВПГ с преимущественными гармоническими колебаниями в горизонтальной плоскости, называемые также малошумными, в значительной мере устраняют недостатки виброплощадок типа СМЖ-200, не уступая им по технологической эффективности, а при формовании крупноразмерных объемных железобетонных элементов даже превосходят их по этому показателю. Подвижные рамы виброплощадок типа ВПГ имеют круговые (при одном вибровозбудителе) или направленные колебания за счет эффекта самосинхронизации двух независимых вибровозбудителей с вертикальными или наклонными добалансными валами [4]. В них отсутствуют зубчатые передачи, карданные валы и пружины, а используются один-два унифицированных вибровозбудителя и простые резинометаллические опоры. Низкочастотный режим вибрации (ω =150...180 рад/с) обеспечивает соблюдение санитарно-гигиенических норм вибрации по уровню шума без каких-либо защитных устройств. Формы с бетонной смесью свободно устанавливаются на подвижной раме и ограничиваются от сползания жесткими поперечными упорами, и только при формовании пустотных изделий формы необходимо заклинивать между этими упорами. Рекомендуемые величины виброперемещений (0,6...0,7 мм по горизонтали и не более 0,35...0,4 мм по вертикали) образуют эквивалентное зна-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

чение амплитуды виброперемещений

$$a_э = \sqrt{0{,}5a_г^2 + a_в^2}, \qquad (2)$$

где $a_г$ — амплитуда горизонтальных виброперемещений; $a_в$ — амплитуда вертикальных вибросмещений, определяемая расположением вибровозбудителей относительно центра масс колеблющейся системы.

Тогда, согласно выражению (1), м.д.в. составляет 0,4...0,6 Вт/кг, что достаточно для качественного уплотнения жестких смесей под пригрузкой и малоподвижных без пригрузки.

Неожиданно высокий технологический эффект при формировании на этих виброплощадках тонкостенных железобетонных изделий, например, виброгидропрессованных труб [5], объясняется тем, что в отличие от вертикально направленных колебаний в этом случае любой элементарный объем смеси за каждый период дважды испытывает напряжение сжатия. Другим полезным качеством низкочастотных виброплощадок с преимущественными колебаниями в горизонтальной плоскости является малое удельное энергопотребление (в кВт на 1 т грузоподъемности) — всего 0,8...2,0 кВт/т. Виброплощадки СМЖ-200 имеют этот показатель в диапазоне 5,3...6,4 кВт/т. Удельная металлоемкость у этих виброплощадок (300...500 кг/т) также меньше, чем у блочных виброплощадок (540...650 кг/т). Грузоподъемность низкочастотных виброплощадок при изготовлении всех типов изделий из тяжелого бетона и керамзитобетона может составлять 100 и более тонн.

Виброударные виброплощадки "на упругих прокладках" (иногда их называют виброплощадки завода "Баррикада") генерируют эллиптические или вертикально направленные резонансные колебания "с подскоком". Они устанавливаются на упругих прокладках определенной жесткости и имеют наибольшую уплотняющую способность относительно жестких смесей как по м.д.в., так и по амплитудному значению виброускорений, ограничиваемому лишь массой фундамента. Рекомендуемая угловая скорость колебаний 240...260 рад/с при амплитудном значении виброускорения 55...65 м/с^2 достигается весьма малой величиной вынуждающей силы, равной примерно силе тяжести колеблющихся частей. Напомним, что подобное амплитудное ускорение у виброплощадок типа СМЖ-200 достигается вынуждающей силой, большей в 5,5...6,5 раза. В этом главное преимущество виброплощадок "на упругих прокладках", которые впервые были освоены по инициативе автора данной статьи на ленинградском заводе "Баррикада" в 1954–1960 гг. За этот период они были изготовлены и смонтированы на 11 формовочных постах силами ремонтно-механического цеха завода, как и все остальное вспомогательное технологическое оборудование [6].

В результате удалось удвоить производственную мощность завода и организовать выпуск высококачественных железобетонных элементов из жестких смесей: панелей перекрытий шириной 1,5 и 2,4 м с широкими овальными пустотами, безнапорных железобетонных труб диаметром 200...600 мм длиной 3 и 6 м, морозостойкого бордюрного камня и т.п. Виброударные виброплощадки в 50–60-х годах нашли распространение на многих предприятиях ленинградской и других областей, а термин "колебания на упругих прокладках" получил признание ряда научных работников [7].

М.д.в. для этого типа виброплощадок определяется выражением

$$N_o^{уп} = \frac{\pi (me)^2 \omega^3}{4\delta^2 M_п^2}. \qquad (3)$$

Здесь, кроме обозначенных ранее, первое условие обеспечения стабильных резонансных колебаний рассчитывается по формуле (и равно)

$$\delta = \frac{F}{Q_п + P} = 0{,}8...1{,}2, \qquad (4)$$

где F — суммарная величина вынуждающей силы; $Q_п$ — сила тяжести колеблющихся частей; P — сила действия пригрузочных пружин и пригрузочного щита.

Кроме того, суммарная жесткость упругих прокладок из транспортерной ленты или твердой резины определяется другим необходимым условием

$$C = M_п \cdot \omega_o^2. \qquad (5)$$

В свою очередь угловая скорость собственных колебаний приведенной массы на упругих прокладках "без подскока" определяется как

$$\omega_o = (1{,}5...2)\omega. \qquad (6)$$

Из необходимости строгого соблюдения условий (4), (5) и (6) вытекает, что на технологической линии должны формоваться изделия с примерно одинаковой приведенной массой. Это является органическим недостатком любой резонансной вибросистемы. Кроме того, в этом случае возникает потребность в большой массе фундамента или его виброизоляции.

Высокую технологическую эффективность виброударного режима можно наглядно подтвердить, если при одинаковых параметрах разделить выражение (3) (при $\delta = 1$) на выражение (1).

$$\frac{N_o^{уп}}{N_o^{сар}} = \frac{\pi^2}{2\delta^2} \approx 5,$$ что является отличительным преимуществом виброформовочных машин этого типа.

Непонимание и нарушение указанных выше условий стабильности резонансного режима в некоторых случаях вызывало у производственников разочарование этими виброплощадками и сдерживало их распространение. Однако простота их конструкции, небольшое число узлов и комплектующих изделий, невысокое удельное энергопотребление (0,8...1,0 кВт/т) и небольшая удельная металлоемкость (450...500 кг/т) при высокой надежности работы свидетельствуют о перспективности таких виброформовочных устройств грузоподъемностью до 24 т для формования изделий из жестких и сверхжестких смесей.

Ударно-вибрационные установки с кулачковым приводом предложены преимущественно для качественного уплотнения легкобетонных смесей без их расслоения и лишены недостатков печально известных "шок-столов". Они отличаются от последних тем, что подвижная рама, фиксируемая рессорными подвесками, в своем плоскопараллельном движении поднимается кулачковыми механизмами на высоту 6...8 мм, а затем свободно падает на упругие полимерные прокладки. Суммарная жесткость последних вызывает свободные колебания подвижной рамы (вместе с формой) в контакте с ними с угловой скоростью в 6...10 раз большей, чем угловая скорость вынужденных подъемов подвижной рамы (20...28 рад/с). Поскольку после удара об упругие прокладки, в результате отскока, подвижная рама меняет направление движения, возникает большое пиковое виброускорение (порядка 60...80 м/с^2). После основного удара об упругие прокладки подвижная рама успевает совершить еще один-два подскока и несколько свободных затухающих колебаний. Основной и последующие ударные импульсы сближают частицы легкого заполнителя, а свободные затухающие колеба-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ния снимают возникающие в смеси напряжения. Такой режим динамического воздействия, передаваемый от формы на легкобетонную смесь, является оптимальным для ее быстрого и качественного уплотнения [8].

Амплитудное значение виброускорения основного ударного импульса определяется аналитически

$$j = g\sqrt{1+\frac{2h\omega_o^2}{g}}, \qquad (9)$$

где g=9,81 м/с^2, h — высота подъема подвижной рамы кулачковыми механизмами; ω_O — частота свободных колебаний в контакте с упругими прокладками; $\omega_O = (6...10)\omega$, где ω — угловая скорость подъемов рамы.

М.д.в. только от основных ударных импульсов можно определить из выражения

$$N_o^{ув} = \frac{g\,h\,\omega}{\pi}. \qquad (10)$$

Если подставить в (10) указанные выше рекомендуемые параметры, то $N_o^{ув}$ =0,45...0,7 Вт/кг. Удельное энергопотребление этих установок — 0,7...0,8 кВт/т, удельная металлоемкость — 350...400 кг/т.

Простота и надежность конструкции ударно-вибрационных установок, возможность использования унифицированных узлов, высокая технологическая эффективность вполне оправдывают широкое применение их на производстве для качественного формования легкобетонных изделий на минеральных и органических заполнителях при грузоподъемности до 20 т.

В заключение отметим, что, по-видимому, следует прекратить практику непрерывного опытного внедрения новых типов виброплощадок, чему прежде способствовал пятилетний срок выплаты авторских вознаграждений за изобретения. Множество конструкций, которое было опробовано на производстве за последние три-четыре десятилетия на заводах сборного железобетона нынешних стран СНГ, превышает все вместе взятые конструктивные варианты виброформовочных устройств, используемых в Западной Европе и в Америке.

Надо отобрать минимум вибрационных устройств для объемного формования всей известной номенклатуры железобетонных изделий и в течение последующих лет непрерывно совершенствовать их потребительские качества, как это принято в зарубежных машиностроительных фирмах. Нецелесообразно возобновлять закупку по непомерным ценам зарубежных технологических линий для производства сборных изделий. Правильнее будет инвестировать отечественное машиностроение, выпускающее такое оборудование. Надо вернуться к целевым рекомендательным программам, но с объективной оценкой перспективности технологического оборудования, а не "шарахаться", как прежде, от одних технологических регламентов к другим.

Снижение стоимости и повышение качества сборного железобетона — это реальный путь восстановления прежних созидательных возможностей строительного комплекса в странах СНГ.

Библиографический список

1. Строительные машины: Справочник т.2 Оборудование для производства строительных материалов и изделий. Под ред. М.Н.Горбовца, М.: Машиностроение, 1991

2. Олехнович К.А. Выбор технологических режимов уплотнения бетонных смесей на виброплощадках//Бетон и железобетон. — 1976. — № 10.

3. Олехнович К.А., Виноградов Ю.И., Нестеренко Н.П. Потребительские качества современных виброплощадок//Строительные и дорожные машины. — 1991. — № 8.

4. Олехнович К.А. Конструктивные разновидности виброплощадок типа ВПГ//Строительные и дорожные машины. — 1992. — № 9–10.

5. Горшков А.И. и др. Совершенствование производства виброгидропрессованных труб диаметром 1400 и 1600 мм//Бетон и железобетон — 1982. — № 7.

6. Мамонтов И.И. Завод высокой культуры, М.–Л., 1965.

7. Савинов О.А., Осмахов С.А., Брауде Ф.Г. Исследование движения вибростола, опирающегося на упругие прокладки, в сб. трудов ВНИИГС № 16, М.: ЦБТИ Минстроя СССР, 1961

8. Олехнович К.А., Марченко К.И., Шахов А.Н. Резервы производства арболита// Строительные материалы и конструкции, К., 1991, № 4.

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

Оригинал-макет изготовлен в редакции журнала

Технический редактор *Н.Е.ЦВЕТКОВА*

Подписано в печать 23.11.98. Формат 60x88$^1/_8$. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная.
Усл.печ.л. 4,0. Уч.-изд.л. 5,2. Заказ № 1083

Адрес редакции:
Москва, Георгиевский пер., д.1, строение 3, 3-й этаж
Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул., 23а
Тел. 292-6205

Отпечатано в типографии № 9
Комитета РФ по печати
109033, Москва, Волочаевская, д. 40

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ние армирования железобетонных конструкций из всей имеющейся совокупности основных и заменяющих арматурных изделий. При этом расход металла оказывается минимальным.

В модуле "Раскрой" выполняется оптимизация раскроя стержневой арматуры. Существо задачи состоит в следующем. Арматура, изготовления на металлургических заводах, поступает на заводы ЖБИ и стройки в виде достаточно длинных заготовок. Их требуется раскроить на арматурные стержни, укладываемые в железобетонные конструкции. Чтобы определить задачу раскроя, требуется задать длину заготовки, а также количество и длины нарезаемых из нее стрежней. Раскрой можно выполнить множеством способов. Задача оптимизации состоит в том, чтобы из всех возможных решений выбрать такое, при котором будет израсходовано наименьшее количество заготовок.

Модуль "Раскрой" существует также в виде отдельной программы*. В описываемой программе версия* существенно усовершенствована. В настоящее время в некоторых случаях на заводы ЖБИ с металлургических заводов поступают длинномерные заготовки не в виде стержней определенной длины, а в виде набора стержней разнообразных длин, т.е. металл немерный. Программа предлагает оптимальные варианты раскроя и для немерного металла. При его сортировке по длинам получают немерный сортированный металл. Закладывая в программу в качестве исходных данных количество и длины заготовок, можно получить оптимальный раскрой и в этом случае. Программа позволяет включать сюда же отходы от предыдущих кроев и автоматически находит вариант их наиболее экономного использования.

Модуль "Документация" состоит из двух разделов: "Карточка железобетонной конструкции" и "Потребность в стали".

Карточка формируется автоматически и содержит исчерпывающие сведения о каждом типе железобетонной конструкции. В карточку входят данные о классе или марке бетона, варианте армирования, расходе арматуры по классам и диаметрам с учетом и без учета нормативных потерь, расходе других материалов, особенностях технологии и т.п.

Раздел "Потребность в стали" позволяет, задав номенклатуру выпуска железобетонных конструкций (наименования конструкций и их количество), автоматически получить:

массу стали на всю номенклатуру конструкций с разбивкой по классам и диаметрам;

массу стали на каждый тип конструкции с разбивкой по классам и диаметрам с учетом количества конструкций;

наименование и количество арматурных изделий и закладных деталей на всю номенклатуру.

Отметим, что программа позволяет производить обмен информацией о номенклатуре железобетонных конструкций между модулями.

Существует версия программы, в которой модуль "Документация" содержит базы данных о выпускаемых железобетонных конструкциях и отправке их потребителям, а также о выпуске и отгрузке товарного бетона. В этом случае пользователь может получить информацию о том, сколько, когда и каких конструкций изготовлено, сколько, когда и кому отгружено, об израсходованных материалах, а также обо всех остатках конструкций на складе.

На заводе Мосинжжелезобетон программа установлена в отделе главного технолога. Базы данных программы содержат сведения о всех железобетонных конструкциях, выпускаемых заводом. К каждому арматурному изделию предусмотрено от 3 до 7 замен. Меняются в основном диаметры стержней при сохранении класса металла, но иногда меняется и класс металла. Каждая замена имеет свою спецификацию и чертеж.

Регулярно в программу вводятся данные о номенклатуре железобетонных конструкций, которые предстоит выпустить за будущий месяц. Программа автоматически определяет количество и длины стержней каждого вида металла для решения задачи раскроя. После решения этой задачи ее результаты передаются в арматурный цех на раскрой. В случае изменения плана выпуска конструкций программа позволяет оперативно получать новые варианты оптимального раскроя.

При отсутствии какого-либо металла на заводе программа автоматически выбирает из базы данных необходимые замены, позволяющие минимизировать расход металла. Чертежи и спецификации каждой замены печатаются на принтере в удобном для практического использования виде и после приказа по заводу передаются в арматурный цех для изготовления.

Модуль "Документация" позволяет оперативно определять необходимую по видам и сечению массу металла на заданную номенклатуру конструкций и используется для заказа металла отделу снабжения.

Программа удобна в работе, легка в обращении и облегчает труд работников завода. За счет оптимизации замен и раскроя программа позволяет сэкономить не менее 10% стали, а также оперативно решать многие актуальные вопросы производства сборных железобетонных конструкций на заводах ЖБИ.

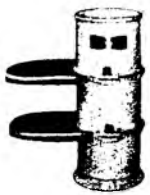
За дополнительной информацией, демонстрационной версией и по вопросам приобретения программы просьба обращаться в НПКТБ ОПТИМИЗАЦИЯ АО по адресу: 117292 Москва, ул.Профсоюзная, 8-2-150, тел. 124-9145, факс 292-6511 (Бокс 677), e-mail krakov@avg.ru.

В.В.ЖАРИКОВ, директор,
Л.С.БЕЛОВА, гл.технолог
(ОАО Мосинжжелезобетон);
М.Б.КРАКОВСКИЙ, д-р техн.наук,
проф. (НПКТБ Оптимизация АО)

* Краковский М.Б. Экономия металла при раскрое стержней на заводах ЖБИ и стройках. Бетон и железобетон. 1997. — №4. — С. 16–17.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ИТЦ "КОНТРОС" ПРЕДЛАГАЕТ для заводских, строительных лабораторий и испытательных центров



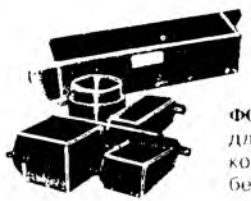
УСТРОЙСТВО ПР
для определения расслаиваемости растворной смеси

СОСУД ОМВ
для определения объемной массы и водоотделения

КОНУС СТАНДАРТНЫЙ КА
для определения подвижности бетонной смеси

ПРИБОР ПГР
для установления густоты раствора

ВЕБЕМЕТР ВБ-1
для определения жесткости бетонной смеси



ФОРМЫ
для изготовления контрольных образцов бетона

ОБЪЕМОМЕР ПП
для определения объема вовлеченного воздуха

ШТЫКОВКА
для уплотнения растворных и бетонных смесей

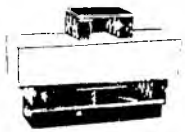
ЗА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ ОБРАЩАЙТЕСЬ:

КОНТРОС

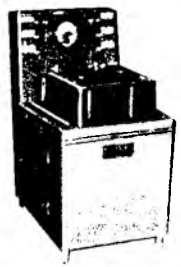
Инженерно-технический центр средств контроля качества строительных работ

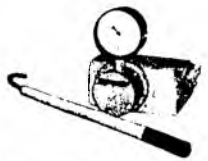
тел.: *(095) 539 36 03,*

т/факс: *(095) 972 43 67*



УСТРОЙСТВО УРИ
для определения прочности на растяжение при изгибе

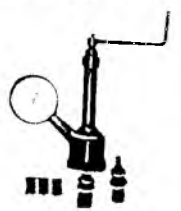




УСТРОЙСТВО
экспрессной оценки водонепроницаемости бетона вв-2

УСТАНОВКА УВФ-6М
для определения водонепроницаемости и фильтрации

СКЛЕРОМЕТР ОМШ-1
для определения прочности в бетонных образцах железобетонных конструкций неразрушающим методом



КАМЕРА УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПРОПАРОЧНАЯ КУП-1

УСТРОЙСТВО ПБЛР
для определения прочности бетона методом вырыва анкера

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ «БУРКЕР»
для выбуривания кернов

ИЗМЕРИТЕЛЬ ИЗС-10Н

ПРИБОР «БЕТОН-22»
для оценки прочности ультразвуковым методом

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru