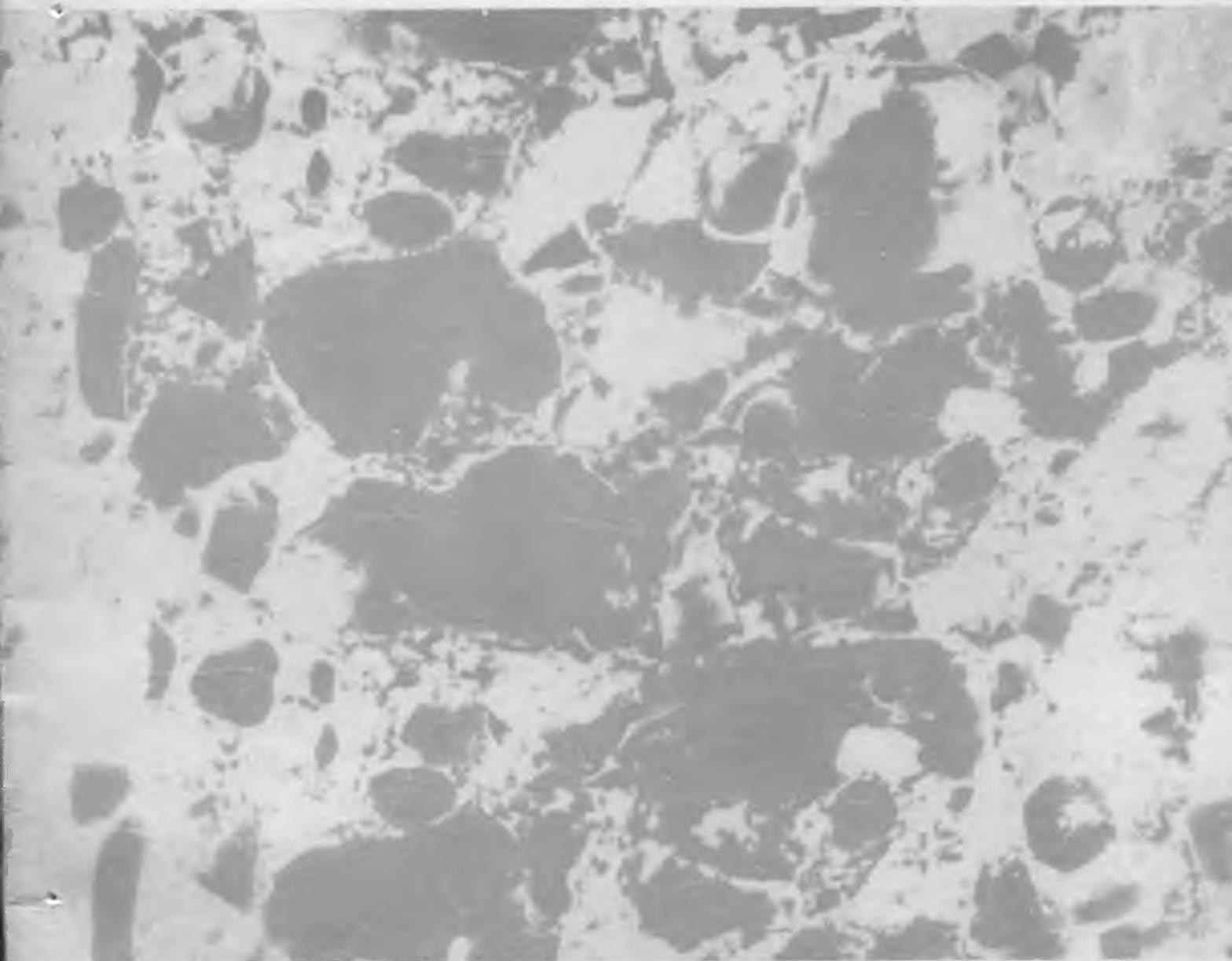


ISSN 0005-9889

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

3

1993



ВНИМАНИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ!

ПСО Татстройпроект поставит новый универсальный прибор двойного назначения ИНА-7М для контролера завода ЖБК.

Прибор предназначен для измерения бесконтактным способом (по частоте поперечных колебаний) напряжения в натянутых стержнях, струнах, прядях, в фаркопфе или затяжке шпренгеля. Второе назначение прибора ИНА-7М — измерение с помощью дополнительного миниатюрного датчика амплитуды вибраций формовочного стола или виброплощадки, а также технологической вибрации поверхности бетонной смеси.

Контактные телефоны:
38-34-94, 38-33-16, 38-31-25.

ЗАКАЗЫ ПРИСЫЛАЙТЕ ПО АДРЕСУ:
420045, Республика Татарстан, Казань, ул. Ершова, 7, ПСО
Татстройпроект.

Основные технические параметры

Диапазон напряжений, МПа	150...1500
Длина пролета арматуры между опорами, м	2...12
Отношение диаметра арматуры к длине пролета, мм/м	0,1...10
Погрешность по напряжению, %	±4
Диапазон частот, Гц	5...200
Погрешность по частоте, %	±1,5
Диапазон измеряемых амплитуд технологической вибрации при частоте 47±3 Гц, мм	0,1...1
Погрешность по амплитуде, мм	±0,05
Время одного измерения, с	3
Источник питания — аккумулятор, тип 7Д—0,125Д	
Разрядный ток аккумулятора, мА	3...4
Габарит, мм	170×110× ×30
Масса (полная в футляре с двумя датчиками), кг	0,7

Предусмотрена возможность подключения магнитофона для записи и воспроизведения частотного измерительного сигнала.

Использование прибора ИНА-7М на заводах стройиндустрии при электротермическом натяжении согласно СНиП 2.03.01—84* (табл. 1, п. 1) позволит сэкономить 8...10 % стали класса А-IIIв и повысить качество формования изделий.

СОДЕРЖАНИЕ

Конструкции

- Кодыш Э. Н., Мордухович И. И.* Исследование стеновых панелей с начальными трещинами в растянутой зоне 2
- Зырянов В. С., Оспанов А. Н.* Особенности работы опертых по контуру сплошных плит с разреженным армированием 3
- Каландадзе В. Ш.* Бесспиральные вибрированные стойки для ВЛ 5

Бетоны

- Лишанский Б. А., Лазуренко А. В., Грушко И. М.* Экспертные системы в бетоноведении 7
- Страхов Ю. М., Майборода Т. И., Рясный Б. Г.* Использование искровых разрядов для активации растворных и бетонных смесей 9
- Крылов Б. А., Ортлихер Л. П., Асатов Н. А.* Бетон с комплексной добавкой на основе суперпластификатора и кремнийорганического полимера 11
- Ставров Г. Н., Катаев В. А.* Предельные деформации бетона при одноосном динамическом нагружении 13
- Коршунов Д. А., Сидоренко М. В., Ялов Г. Н.* Определение напряжений в бетоне конструкции 15

Заводское производство

- Толорая Д. Ф., Цыро В. В., Марченко Э. И.* Новые технологии для производства сборного железобетона 16

Строительное производство

- Полтавцев Е. И., Егоров Ю. В., Убеев А. В.* Бесцементные и малоцементные вяжущие для монолитного строительства 19
- Глебов В. И.* Определение сроков расплубливания и нагружения твердеющих монолитных конструкций 21

В помощь проектировщику

- Панфилов Д. Ф.* Расчет режимов термосного выдерживания немассивных блоков 22

В помощь заводским лабораториям

- Пикулев Н. А., Пикулев А. Н.* Прибор ИНА-7М для технолога завода ЖБК 25

Теория

- Михайлов В. В.* Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона 26

Долговечность

- Крушедольская В. Е., Флак В. Я., Чернявский В. Л.* Коррозионное поведение арматуры в бетонах на шлакопортландцементях 28

Зарубежный опыт

- Михайлов К. В.* Заводское производство преднапряженных изделий 30

Информация

- Габрусенко В. В.* 2-я Сибирская конференция по железобетону 31



УДК 691.022—413

Э. Н. КОДЫШ, д-р техн. наук, И. И. МОРДУХОВИЧ, канд. техн. наук
(ЦНИИпромзданий)

Исследование стеновых панелей с начальными трещинами в растянутой зоне

Стеновые однослойные панели из легкого бетона, как правило, армируют конструктивно ($\mu = 0,05\%$). В результате возрастания толщины стеновых панелей по технологическим требованиям приходится увеличивать и площадь сечения арматуры. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные ЦНИИпромзданий и НИИЖБом [1], показали возможность для данных конструкций уменьшить минимальный процент армирования, так как хрупкое разрушение, которого можно опасаться, например, в плитах покрытия и перекрытия от больших перегрузок, в стеновых панелях неадекватно. Их устанавливают на фундаментные или перемычные балки, у которых $\mu > 0,05\%$. Верховую нагрузку определяют с достаточной обеспеченностью на базе многолетних наблюдений.

В то же время необходимо иметь в виду, что по различным случайным причинам (распалубка, транспортирование, монтаж) в панелях могут образовываться трещины, ширина раскрытия которых допускается ГОСТ 11024 до 0,15 мм. Поэтому исследования влияния начальных трещин, возникших в доэксплуатационный период, весьма актуально.

Ширина раскрытия трещин

$$a_{erc} = \epsilon_s l_{erc} = \frac{\sigma_s}{E_s \nu_s} l_{erc} \quad (1)$$

В источнике [2] приведена эмпирическая формула определения ширины раскрытия трещин

$$a_{erc, cl} = \delta \varphi \eta \times \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3,5 - 100\mu) \sqrt{d} \quad (2)$$

где ϵ_s, ϵ_l — упругие деформации в арматуре:

$$\epsilon_s, \epsilon_l = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Известно, что формула (2) справедлива и в случае, когда в арматуре развиваются пластические деформации. Тогда $E_s = \frac{\sigma_s}{\nu_s \epsilon_s}$. Рассматривая выражение $\delta \varphi \eta 20(3,5 - 100\mu) \sqrt{d}$ как расстояние между трещинами, можно формулу (1) записать в виде

$$a_{erc} = \epsilon_s l_{erc} = (\epsilon_s, el + \epsilon_s, pl) l_{erc} \quad (3)$$

или

$$a_{erc, cl} = a_{erc, el} + a_{erc, pl} = a_{erc, el} + a_{erc, pl}^{нач} \quad (4)$$

В выражении (4) принято допущение, что начальное раскрытие трещин обусловлено только неупругими деформациями арматуры. В действительности оно зависит и от неупругих деформаций бетона в сжатой зоне. Из-за образования трещин по длине изгибаемого элемента нейтральная ось имеет волнообразный вид. Поэтому форма эпюры нормальных напряжений в сжатой зоне бетона меняется по длине и деформации крайнего сжатого волокна бетона также непостоянны по длине участка между трещинами. Работу бе-

тона на участках между трещинами учитывает коэффициент Ψ_b , который для легкого бетона равен 0,9, а для панелей, как для конструкций, рассматриваемых при многократной повторяющейся верховой нагрузке, $\Psi_b \approx 1$:

$$\Psi_b = \frac{\epsilon_{b, m}}{\epsilon_b} \quad (5)$$

где $\epsilon_{b, m}$ — средние деформации бетона на участке между трещинами.

Упругопластическое состояние бетона сжатой зоны характеризуется коэффициентом упругости ν , который при нагружении элемента кратковременной нагрузкой равен 0,45; при длительном действии нагрузки коэффициент упругости бетона ν_b снижается в 3...5 раз. В этом случае ν уменьшается с 0,45 до 0,15...0,1:

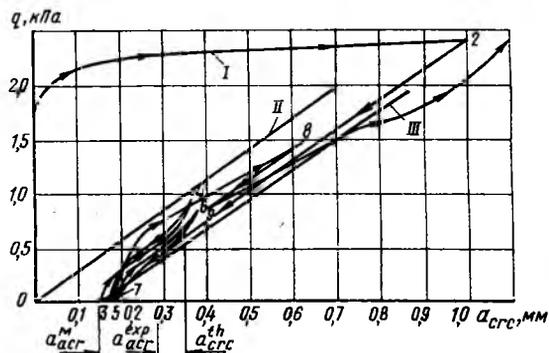
$$\nu = \nu_b \omega_b \quad (6)$$

где ν_b — коэффициент упругих деформаций в крайнем сжатом волокне бетона:

$$\nu_b = \frac{\epsilon_{b, el}}{\nu_{b, el} - \epsilon_{b, pl}}$$

ω_b — коэффициент формы эпюры нормальных напряжений в рассматриваемом сечении.

При наличии трещины в растянутой зоне отношение высоты сжатой зоны бетона x_{act} к ее средней величине x_m колеблется в пределах 0,8...1 и практически не зависит от свойств бетона и степени армирования. При длительно действующей нагрузке в стеновых панелях, как в слабо армированных элементах, процесс образования трещин происходит постепенно, что уменьшает высоту сжатой зоны.



Зависимость ширины раскрытия трещины от нагрузки для панели размером 1,2×6×0,25 м I — опыт; II — расчет по формуле СНиП при $\varphi = 1,5$; III — по формуле $a_{erc} = a_{erc, pl} + a_{erc, pl}^{нач}$; 1...10 — последовательность изменения раскрытия трещин

В формуле (2) $\delta=1$, так как панель является изгибаемым элементом, φ_l вычисляются как для многократно повторяющейся нагрузки, каковой является ветровая нагрузка, по формуле

$$\varphi_l = 1,6 - 15\mu \geq 1,5 \quad (\text{для легкого бетона}). \quad (7)$$

Принимаем $\varphi_l = 1,5$.

Тогда формула (2) примет вид

$$a_{crc} = 30\eta \frac{\sigma_s}{E_c} (3,5 - 100\mu) \sqrt[3]{d} + a_{crc}^{нач}. \quad (8)$$

Такой способ, несмотря на его приближенность, неплохо отражает данные, полученные в экспериментах (см. рисунок). Известно, что в тех случаях, когда арматура работает упруго, остаточное раскрытие трещин можно определить по формуле

$$a_{crc}^{ост} = a_{crc}(M) \frac{M_{3,т}}{M + M_{3,т}}, \quad (9)$$

УДК 624.073:691—413/—419

В. С. ЗЫРЯНОВ, д-р техн. наук, А. Н. ОСПАНОВ, инж. (ЦНИИЭП жилища)

Особенности работы опертых по контуру сплошных плит с разреженным армированием

В крупнопанельных жилых зданиях широко применяют перекрытия размером на комнату, опертые по контуру или трем сторонам. Используемые для них сплошные плиты армируют обычно сетками со стержнями $\varnothing 6...8$ мм в коротком и $\varnothing 4...5$ мм в длинном направлении. В связи с неритмичностью снабжения многих предприятий КПД арматурой малых диаметров часто возникает потребность замены арматуры $\varnothing 6...8$ мм на стержни больших диаметров. А это при сохранении общей площади сечения арматуры приводит к увеличению шага стержней; превышающих требования СНиПа, при нормативных расстояниях между стержнями — к перерасходу арматуры.

При использовании для таких плит арматуры $\varnothing 10$ мм и более, кроме регламентации расстояния между стержнями, возникает также проблема анкеровки стержней у опор, поскольку минимальная длина заведения стержней за грань опоры, ограниченная в нормах пятью диаметрами, при наименьшей толщине стен 120 мм не выдерживается.

Важной предпосылкой успешно-

где $a_{crc}(M)$ — раскрытие трещин при моменте M ; $M_{3,т}$ — момент закрытия трещин: $M_{3,т} = 0,5W_0$.

При наличии начальных трещин длительное раскрытие трещин

$$a_{crc 2} = a_{crc, el} \frac{M_{3,т}}{M + M_{3,т}} + a_{crc}^{нач}. \quad (10)$$

Формулами (4) и (10) можно пользоваться для приближенной (с запасом) оценки раскрытия трещин в стеновых панелях. Анализ результатов показывает, что при наличии начальных трещин $a_{crc}^{нач} = 0,15$ в растянутой зоне панели при давлении ветра 0,55 кПа ширина непродолжительного $a_{crc 1}$ и продолжительного $a_{crc 2}$ раскрытия трещин меньше предельно допустимых значений 0,4 и 0,3 мм. Увеличение процента армирования с 0,03 до 0,05 % незначительно отразилось на $a_{crc 2}$ (0,28 и 0,23 мм). Результаты расчетов ($a_{crc 1} = 0,37$ мм) согласуются с ре-

зультатами эксперимента ($d_{crc 1 \text{ Ом}} = 0,29$ мм). График $a_{crc} - q_1$, построенный по результатам испытаний, позволяет оценить влияние начальных трещин в растянутой зоне. Точки 4, 6, 8, соответствующие максимальной нагрузке на цикле «нагрузка — разгрузка», лежат на огибающей кривой, не имеющей значительных перегибов и скачков, т. е. наличие начальных трещин в растянутой зоне стеновых панелей не влияет на рост ширины раскрытия трещин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кодыш Э. Н., Лемыш Л. Л., Мордухович И. И. Стеновые керамзитобетонные панели со сниженным процентом армирования. — М.: ВНИИС// Экспресс-информ. — Вып. 11, 1985.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов (к СНиП 2.03.01—84). — М.: ЦИТП, 1986.

V12,5...V15, рабочая арматура $\varnothing 6, 8, 10$ и 12 А-III. Балочные фрагменты испытывали с опиранием на двух опорах при глубине площадки опирания 50 мм, соответствующей минимальной толщине стен 120 мм. Нагрузку создавали с помощью гидравлического домкрата. Индикаторами, установленными по торцам, измеряли сдвиг арматуры в зоне ее анкеровки у опор. Всего испытывали 22 балочных фрагмента — 14 толщиной 160, остальные — 100 мм. Влияние разброса прочности бетона на сцепление арматуры с бетоном учитывали введением коэффициента K_b

$$K_b = \frac{R_b}{R_{b(ст)}}, \quad (1)$$

где R_b — фактическая призмная прочность бетона образцов; $R_{b(ст)}$ — призмная прочность бетона класса V12,5, принятая в качестве эталонной.

Относительные величины поперечной силы, приведенные к эквивалентной ширине полосы $b=1$ м и с учетом коэффициента K_b

$$Q_i = \frac{Q_i}{bK_b}, \quad (2)$$

где Q_i — поперечная сила, при которой происходил сдвиг арматуры.

На рис. 1 приведена зависимость Q_i от d , отражающая влияние диаметра стержней на поперечную силу при нарушении сцепления арматуры с бетоном. При этом значении поперечной силы плавно умень-

Образцы	R_m , МПа	R_b , МПа	R_{br} , МПа	Арматура	Шаг, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа
П-1	19,9	14,3	1,53	4Ø8А-III	770	480
				4Ø5Вр-1	520	610
П-2	15,0	11,3	1,25	3Ø10А-III	1020	490
				3Ø6А-III	700	392
П-3	16,0	12,7	1,36	2Ø12А-III	1540	501
				2Ø8А-III	1040	480

Примечание. Над чертой в направлении l_1 , под чертой — l_2 .

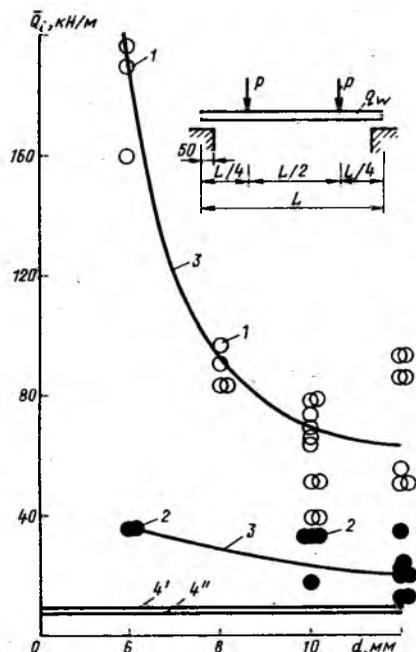


Рис. 1. Влияние диаметра стержней на поперечную силу при нарушении сцепления арматуры с бетоном

1 — для образцов толщиной 160; 2 — то же 100 мм; 3 — среднестатистические значения поперечной силы; 4' — максимальные значения поперечной силы в опертых по контуру плитах перекрытий жилых зданий при $h=160$; 4'' — то же $h=100$ мм

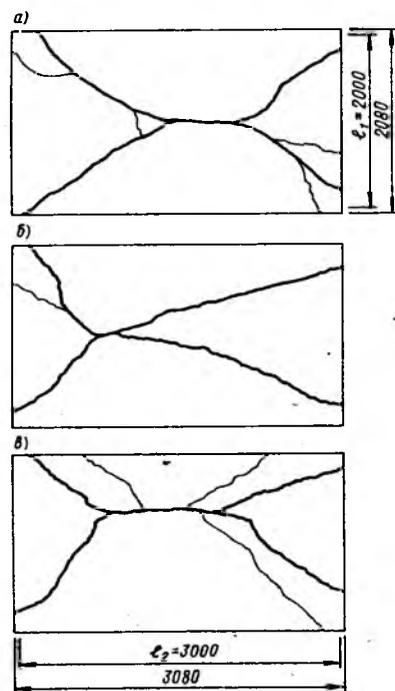


Рис. 2. Трещинообразование плит П-1 (а), П-2 (б) и П-3 (в) с увеличенными шагами стержней

шились с увеличением диаметра стержней и шага между ними. Тем не менее минимальные значения поперечной силы при наибольших диаметрах стержней и их шага с достаточным запасом превышали расчетные значения поперечной силы в типовых плитах перекрытий жилых зданий серий 90 и 121 размерами $0,16 \times 3,6 \times 5,7$ м и $0,1 \times 3,2 \times 5,7$ м.

Для уточнения особенностей статической работы плит, армируемых стержнями $\varnothing 10$ мм и более

с увеличенными по сравнению со СНиПом шагами, испытали три опытных образца плит размером $2,08 \times 3,08$ м, с расчетными пролетами $l_1 \times l_2 = 2 \times 3$ м, толщиной 80 мм (табл. 1).

Эксперименты проводили на специальном стенде потолочной поверхностью вверх. Нагрузка передавалась снизу вверх гидравлическим домкратом через систему траверс в 16 точек равномерно по площади плиты. Преимущество такой методики заключается в возможности своевременно фиксировать развитие трещинообразования на разных этапах нагружения. Плиты свободно опирались по периметру на жесткую металлическую раму через подвижные стальные катки и шары. При этом имитируемую величину площадок опирания плит на несущие стены приняли такой же, как и при испытаниях балочных фрагментов — 50 мм.

Трещинообразование опытных плит показано на рис. 2. Наиболее важным результатом явилось отсутствие трещин в приопорных зонах плит, где предположительно имела вероятность нарушения сцепления стержней с бетоном при их редком расположении. При испытаниях плит, опертых по контуру, подтвердилась обеспеченность анкеровки у опор стержней $\varnothing 10$ и 12 мм при минимальной площадке опирания 50 мм. При эксплуатационных нагрузках трещины в плитах не образовывались, а в стадии исчерпания несущей способности направления трещин нигде не совпадало с направлением стержней арматуры.

Таблица 2

Образцы	$q_{ult}^{шт}$, КПа	q_{ult}^{exp} , КПа	$q_{ult}^{exp}/q_{ult}^{шт}$
П-1	8,93	10,15	1,03
П-2	9,43	9,85	1,05
П-3	9,11	9,70	1,07

Таким образом, установлено, что при редком расположении стержней совместная работа арматуры с бетоном обеспечивается на всех этапах нагружения вплоть до разрушения и по всей площади плиты, а отсутствие трещин при эксплуатационных нагрузках предполагает сохранность арматуры. Несущая способность таких плит оказалась больше теоретической [2] в среднем на 5% (табл. 2). Этим еще раз подтверждена возможность безопасного применения разреженного армирования в сплошных плитах перекрытий жилых зданий.

Выводы

По трещиностойкости и прочности пролетных и приопорных сечений, анкеровке арматуры у опор опертые по контуру сплошные плиты перекрытий зданий с увеличенными шагом стержней до $1...1,5$ м $\varnothing 10$ и 12 мм с запасом могут воспринимать проектные нагрузки, а ввиду отсутствия трещин при эксплуатационных нагрузках обеспечивается и сохранность арматуры.

Использование разреженного армирования в перекрытиях жилых зданий обеспечивает взаимозаменяемость стержней различных диаметров, исключает необоснованный перерасход стали и уменьшает трудоемкость арматурных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Зырянов В. С., Осипов А. Н. Об увеличении шагов арматуры в сплошных железобетонных плитах // Жилищное строительство. — 1992. — № 3. — С. 18.
- Рекомендации по расчету и конструированию сплошных плит перекрытий крупнопанельных зданий. — М.: ЦНИИЭП жилища, 1989.

Бесспиральные вибрированные стойки для ВЛ

В ГрузНИИЭС испытывали фрагменты бесспиральных и обычных железобетонных стоек на знакопеременные многократно повторяющиеся нагрузки (рис. 1). При этом контрольную нагрузку принимали равной нормативной при создании повторного нагружения 3...4 раза и равной 0,6 расчетной при нагружении 10 раз. В результате экспериментов установлено, что прочность, деформативность и трещиностойкость фрагментов стоек бесспиральных и со спиралью одинаковы (табл. 1).

Для испытания бесспиральных железобетонных стоек на знакопеременные многократно повторяющиеся нагрузки на Дзержинском комбинате изготовили стойки марки СВбс 110-3,5 и доставили на полигон ПО «Союзтехэнерго». Испытания проводили по программе Сельэнергопроекта и НИИЖБа, по предложению которых контрольную нагрузку принимали равной нормативной при создании повторного нагружения 3...4 раза и 0,6 расчетной при нагружении 10 раз.

Стойки испытывали на горизонтальном стенде (рис. 2). Прогибы от знакопеременной многократно повторной нагрузки приведены на рис. 3. Нагрузки к стойкам прикладывали ступенями расчетных — 20—40—60—85 (нормативная) — 100 и далее через 10 % до разрушения. При действии знакопеременной нормативной нагрузки стойки загружали 10 раз до нормативной нагрузки в сторону узкой грани, а затем 10 раз до нормативной нагрузки в сторону

широкой грани с разгрузкой каждый раз до нуля и далее доводили до разрушения. В случае действия знакопеременной расчетной нагрузки стойки загружали три раза до расчетной нагрузки в ту и другую стороны и затем доводили до разрушения. За расчетную приняли нагрузку 3,9 кН. В 1990 г. на испытательном полигоне ПО «Союзтехэнерго» испытывали бесспиральные железобетонные стойки марки СВбс 164—10,7 (тип 1,2) и стойки со спиралью марки СВ 164—10,7 (тип 3,4) длиной 16,4 м на знакопеременные многократно повторяющиеся нагрузки (см. рис. 1).

Стойка 1 — без спирали за исключением вершины и комля, где спираль намотана на 50 вверх и на 70 см вниз стойки. Монтажные хомуты установлены через 2 м, класс бетона В25. Стойка 2 — без спирали, за исключением вершины и комля, где спираль намотана на 50 и 300 см, монтажные хомуты установлены через 2 м, класс бетона В15. Стойка 3 — обычная по ГОСТ 23613 со спиралью, класс бетона В25, стойка 4 — то же В15.

Результаты экспериментов 12 стоек на горизонтальном стенде приведены в табл. 2. Для некоторых стоек разрушающий момент оказался ниже контрольного, а стержни разрушились в растянутой зоне по сварным швам. Согласно ГОСТ 23613 места сварки продольных стержней не должны располагаться ближе 4 м от концов стойки. На заводе при изготовлении стойки это условие иногда

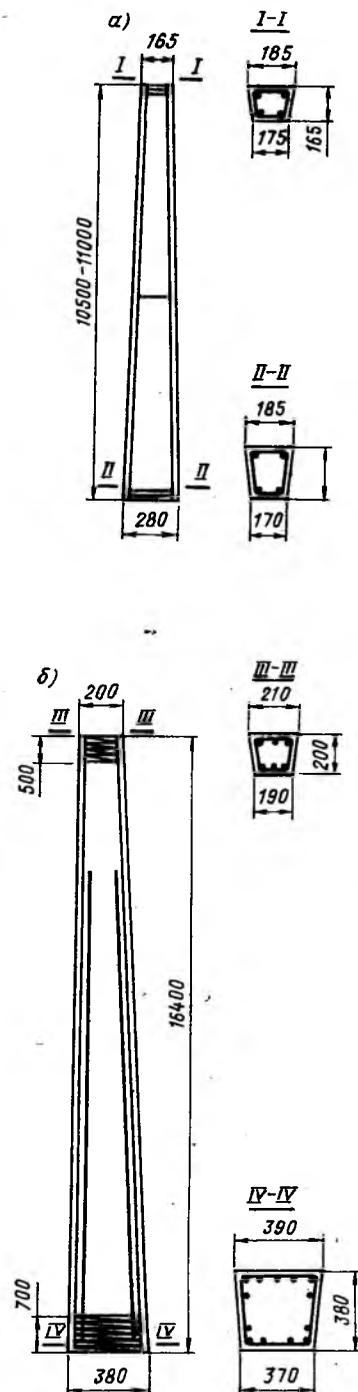


Рис. 1. Вибрированные железобетонные бесспиральные стойки для линий электропередачи напряжением 10 (а) и 35 (б) кВТ

Таблица 1

Р, кН	Размер сечения в заземлении, см	Поперечная сила в зоне заземления при разрушении, кН	Несущая способность по СНиПу, кН	Прочность бетона при испытании, измеренная молотком Кашкарова, МПа	R_b , МПа	γ
13,50	17×24	91,2	18,80	16,4	20	3,40
16,30	17×24	97,8	18,80	16,4	20	4,20
13,10	17×24	90,0	29,90	21,8	40	3,36
17,50	17×24	105,0	29,90	21,8	40	4,48
14,25	17×21	91,6	16,80	16,4	20	3,65
11,25	17×21	72,3	16,80	16,4	20	2,88
16,75	17×21	108,0	26,70	21,8	40	4,30
14,75	17×21	101,0	26,70	21,8	40	3,80
8,60	17×17	55,3	13,27	16,4	20	2,20
9,10	17×17	57,6	13,27	16,4	20	2,30
9,50	17×17	60,0	21,15	21,8	40	2,43
9,60	17×17	57,6	21,15	21,8	40	2,46

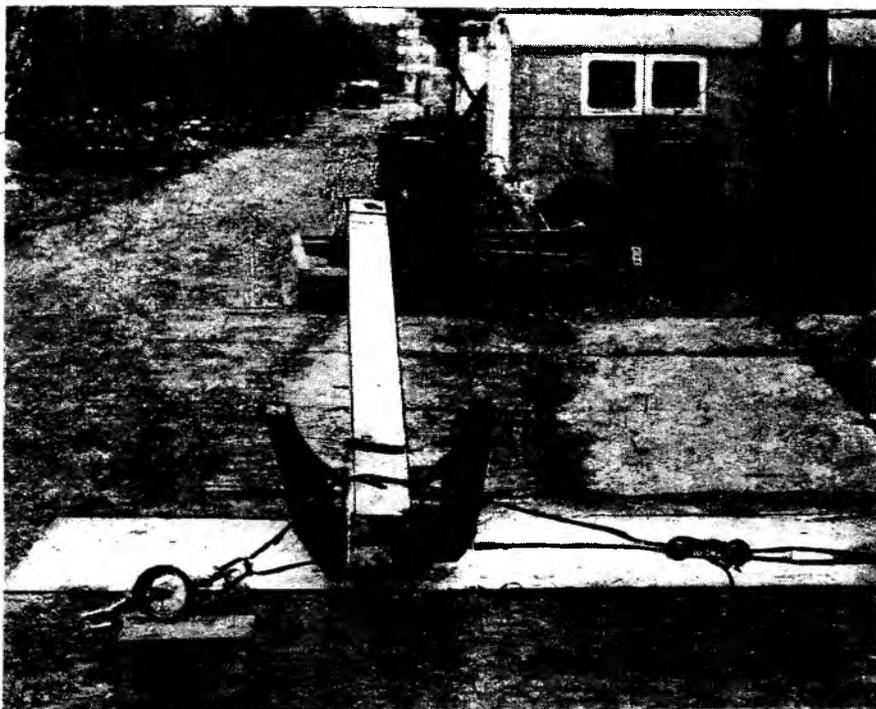


Рис. 2. Испытание бесспиральных железобетонных стоек на знакопеременные многократно повторные нагрузки на полигоне ПО «Союзтехэнерго»

Таблица 2

Тип стойки	Цикл загрузки, %	Число циклов	Разрушающая нагрузка	γ	Место разрушения
1	0—84	10	12,0	1,35	Между упорами
1	0—100	3	13,8	1,55	То же
4	0—84	10	14,0	1,5	У верхнего упора с обрывом верхних растянутых стержней
3	0—84	10	13,9	1,5	То же
1	0—84	10	13,5	1,5	Между упорами
4	0—84	10	14,2	1,6	У верхнего упора с обрывом всех растянутых стержней
1	0—84	10	10,4	1,17	Между упорами с обрывом средних растянутых стержней у сварного стыка
3	0—84	10	12,3	1,38	Обрыв растянутого стержня по сварному стыку на 0,8 от верхнего упора
2	0—84	10	13,7	1,55	В заделке
2	0—84	10	14,7	1,65	То же
2	0—100	3	15,0	1,68	>
2	0—100	3	13,8	1,55	>

ВНИМАНИЮ инженерной общественности России!

Руководство комитета ТК 119 РИЛЕМ информирует о проведении 10—12 октября 1994 г. в Мюнхене (Германия) симпозиума «Теплообразование в бетоне раннего возраста», на который можно направлять тезисы докладов размером до 300 слов.

Срок представления тезисов до 31 июля 1993 г. Полный текст докладов — до 1 февраля 1994 г.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

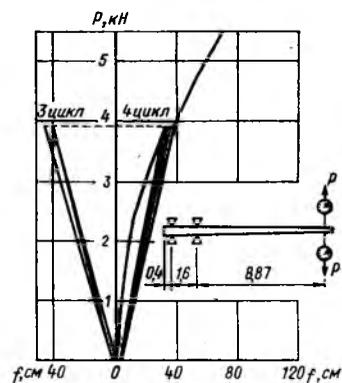


Рис. 3. Зависимость прогибов от знакопеременной многократно повторной нагрузки для бесспиральной стойки из бетона класса В15

не соблюдают. Это существенно повлияло на прочность некоторых стоек.

Испытание вибрированных стоек для линий электропередачи напряжением до 35 кВт длиной 9...16,4 м как со спиралью, так и без них на знакопеременные многократно повторные нагрузки на полигоне ПО «Союзтехэнерго» показали, что бесспиральные вибрированные железобетонные стойки обладают достаточной прочностью на знакопеременную нагрузку и их можно рекомендовать к массовому применению при строительстве линий электропередачи, как обычные спиральные стойки.

Выводы

Использование бесспиральных железобетонных вибрированных стоек для линий электропередачи на напряжение 0,4...2,5 кВт позволит экономить в год более 15 тыс. т металла.

При применении для стоек бетона класса В15 вместо классов В25 и В30 годовая экономия цемента на 1 м³ бетона составит 146,79 тыс. т.

АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Prof. R. Springenschmid
Technikal University
Munich
Baumbachstrasse 7
D8000 Munich 60,
Germany
Tel. (089) 8895 310,
Fax. (089) 8895 347

Б. А. ЛИШАНСКИЙ, канд. техн. наук, А. В. ЛАЗУРЕНКО, инж.,
И. М. ГРУШКО, д-р техн. наук, проф. (Харьковский
автомобильно-дорожный ин-т)

Экспертные системы в бетоне

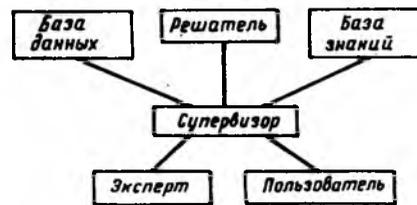
Бетонное дело — это обширная область, содержащая большой объем информации о свойствах материалов, способах их применения, проектирования составов и технологии получения. Имеющийся опыт настолько обширен, что дальнейшее улучшение свойств материалов и получение новых без анализа существующих знаний становится все более сложным. Современные ЭВМ с их возможностью хранения и обработки огромного объема информации могут оказаться полезными в систематизации и облегчении доступа к ней. При этом недостаточно разработки компьютерного справочника по строительным материалам, а необходима система накопления и обработки информации, позволяющая пользователю рационально применять полученные знания для решения конкретных задач. Кроме того, результаты решения этих задач должны соответствовать требованиям их получения высококвалифицированными специалистами в данной области. Если же знания в рассматриваемой области разместить в памяти ЭВМ и выработать аппарат их использования, то это позволит пользователю даже невысокой квалификации принимать обоснованные решения в различных областях строительного материаловедения, что приведет к повышению качества и надежности строительного комплекса.

Аппаратом, позволяющим решать эти задачи, являются экспертные системы [1]. Это компьютерные программы, способные накапливать знания, содержащиеся в различных источниках, и моделировать процесс экспертизы, т. е. решения специалистами той или иной области неформализуемых задач на основе своего профессионального опыта. С появлением экспертных систем искусственный интеллект, одну из ветвей которого они составляют, перестал

быть чисто теоретической научной дисциплиной и стал рассматриваться как стратегически важное направление исследований. Через блок взаимодействия со специалистом (экспертом) данные поступают в ЭВМ, перерабатываются и составляют в целом базу знаний [1, 2]. Экспертные системы также содержат базу данных [1], включающую сведения о предметной области, структуру проблемы, известные причинно-следственные связи и т. д.

Проблема представления знаний является одной из основных при проектировании экспертных систем. Другой важной проблемой, связанной с первой, представляется разработка средств вывода решений. Самая простая и часто используемая система продукций основана на использовании правил типа «если..., то...», т. е. если условие удовлетворяется, то правило можно использовать. В строительном материаловедении имеется большое число представлений, которые целесообразно объединить в специальные информационные структуры (фреймы), а правило вывода проектировать для этих структур [3]. Фреймы могут содержать подструктуры, называемые слотами, включающие как элементарную информацию, так и ссылку на другие фреймы или присоединительные процедуры. Эти процедуры позволяют производить некоторые операции для получения значения этого слота. Следовательно, использование фреймов для представления знаний позволяет получить описание видов и свойств строительных материалов в виде связанных, иногда иерархически упорядоченных, крупных информационных структур, что приводит к более наглядному представлению знаний, сохраняя модульность построения [1, 3].

На схеме представлена типовая структура экспертных систем. Строительное материаловедение



включает несколько разделов, которые можно представить в виде отдельных предметных областей. Для одной из таких областей, включающей бетоны различных видов, рассмотрим задачи построения базы знаний и их обработки. Рассмотрим в качестве примера описание реальной экспертной системы, которую можно расширить и видоизменить. Структура фрейма «Бетон», позволяющего классифицировать бетоны по различным признакам, следующая: по назначению — P_1 , по виду вяжущего — P_2 , по виду заполнителя — P_3 , по структуре — P_4 .

Значения слотов этого фрейма являются ссылками на другие фреймы. Например, фрейм P_1 , описывающий классификацию бетона по назначению, имеет структуру:

Наименование вида бетона конструкционный, специальный
Код вида бетона 11, 12, 13, 14
Подвиды бетона P_{12}, P_{13} .

В этом фрейме значение слота «Подвид» может быть ссылкой на подчиненный фрейм. Например, если наименование вида бетона принимает значение «специальный», то фрейм, описывающий подвид P_{12} , может содержать значения: жаростойкий, химически стойкий, декоративный и др. Аналогично организована структура и по другим признакам классификации от P_1 до P_4 , т. е. необходимо получить соответствующее множество

$$P = \{P_1, P_2, P_3, P_4\}, \quad (1)$$

причем элементами его являются множества

$$P_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik_i}\}, \quad i = \overline{1, 4}, \quad (2)$$

описывающие виды бетона. Кроме того, виды бетона также можно представить в виде множеств, элементов которых являются слотами соответствующих фреймов

$$p_{ij} = \{p_{ij1}, p_{ij2}, \dots, p_{ijk_{ij}}\}, \quad i = \overline{1, 4}, \quad (3)$$

Например, если $P = P_1$ (по назначению), тогда

$$P_1 = \{p_{11} \text{ (конструкционный)}, p_{12} \text{ (специальный)}\}; \quad (4)$$

$$p_{12} = \{p_{121} \text{ (жаростойкий)}, p_{122} \text{ (химически стойкий)} \dots p_{125} \text{ (декоративный)}\}; \quad (5)$$

Для получения полной классификации бетонов по всем признакам необходима последовательная обработка фреймов с учетом правил, исключающих противоречия, что достигается соответствующими системами экспертных высказываний $L^{(ij)}$ ($i, j = 1, 4, i \neq j$) и с учетом работы [4]

$$L^{(ii)} = L^{(ii)}: \text{ (если } P_i \text{ есть } p_{i1}, \text{ то } P_j \text{ есть } \bigcup_{k=1}^{k_1} p_{jk}, 1 \leq k_1 \leq n_j; L^{(ii)} = L^{(ii)}: \text{ (если } P_i \text{ есть } p_{i2}, \text{ то } P_j \text{ есть } \bigcup_{k=1}^{k_2} p_{jk}, 1 \leq k_2 \leq n_j; \dots L^{(ii)} = L^{(ii)}: \text{ (если } P_i \text{ есть } p_{in_i}, \text{ то } P_j \text{ есть } \bigcup_{k=1}^{k_n} p_{jk}, 1 \leq k_n \leq n_j. \quad (6)$$

При этом множество $\bigcup_{k=1}^{k_i} p_{ik} \subset P_i$, а их пересечения $\bigcap_{k=1}^{k_i} p_{ik} \cap P_j$ исключают соответствующие противоречия, связанные с технологией получения бетонов различных видов. Например, система экспертных высказываний, связывающих признаки «по назначению» и «по виду вяжущего» $L^{(12)}$ имеет вид

$$L^{(12)} = L^{(12)}: \text{ (если } P_1 \text{ есть «конструкционный», то } P_2 \text{ есть цементные } \vee \text{ известково-смешанные } \vee \text{ специальные); } L^{(12)} = L^{(22)}: \text{ (если } P_1 \text{ есть «специальные» } \wedge p_{12} \text{ есть «жаростойкие», то } P_2 \text{ есть цементные } \vee \text{ специальные). \quad (7)$$

Пользователю предоставляется возможность выбора конкретных элементов множеств $\bigcup_{k=1}^{k_i} p_{jk}$ для получения бетонов с требуемой классификацией, т. е. определить вектор классификации K

$$K = \{K_j \in \bigcup_{k=1}^{k_i} p_{jk}, j = \overline{1, 4}\}. \quad (8)$$

Элементы этого вектора k_j определяют возможные значения каждого из выбранных признаков классификации, что позволяет произвести анализ и установить показатели качества бетона (например, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и др.). Они образуют пространство свойств бетона

$$X = \{x_i | x_i \in [x_i', x_i''], i = \overline{1, n}\}, \quad (9)$$

где x_i', x_i'' — предельные значения i -го свойства бетона.

С учетом вектора K и системы экспертных высказываний R , связывающей по правилу продукции (если... то) признаки классификации со свойствами бетона, определяем область качества $\Omega(K) \subset X$, в которую включены только те из них, требования к которым предъявляются выбранным классом бетона. При этом система экспертных высказываний

$$R = \{R_i: \text{ (если } P_1 \text{ есть } p_{1i} \wedge \bigwedge_{k=1}^{k_i} p_{2k} \text{ есть } p_{2j} \wedge \bigwedge_{k=1}^{k_2} p_{3k} \text{ есть } p_{3n} \wedge \bigwedge_{k=1}^{k_3} p_{4k} \text{ есть } p_{4i}, \text{ то } \Omega \text{ есть } \bigcup_{m=1}^s x_m), i = \overline{1, n_1}; j = \overline{1, n_1 k_1 k_2 k_3}\}.$$

Полученная система позволяет пользователю выбрать значения свойств бетона в области качества

$$\Omega(K) = \bigcup_{m=1}^s x_m \text{ с учетом принятой классификации } K. \text{ Это дает возможность получить вектор свойств}$$

классификации K . Это дает возможность получить вектор свойств

$$Y = \{y_i | y_i \in \bigcup_{m=1}^s x_m, i = \overline{1, s}\}. \quad (11)$$

Используя признак классификации «по виду вяжущего» $P_2 \in P$ и значения заданных свойств бетона Y , можно определить область используемых вяжущих на основании системы экспертных высказываний

$$L_\omega = \{L_\omega: \text{ (если } \Omega(K) \text{ есть } Y \wedge P_2 \text{ есть } p_{2j}, \text{ то } A_j \text{ есть } A_j'), j = \overline{1, k_1}, \quad (12)$$

где A_j — множество вяжущих j -го вида; A_j' — подмножество вяжущих j -го вида, использование которых возможно для получения бетона с вектором свойств Y .

Элементы подмножества A_j' расположены по убыванию приоритета их применения, т. е. их ранг оп-

ределяется экспертом или нормативными документами (например, СНиП 5.01.23—83), где указаны рекомендуемые и допускаемые марки цемента. Аналогично проектируют системы экспертных выводов для назначения заполнителей и различных химических добавок. После этого получают область допустимых значений рецептурных параметров A в виде декартова произведения подмножеств A_j' :

$$A = A_1' A_2' \dots A_n' = \{(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}) | a_{i1} \in A_1', a_{i2} \in A_2', \dots, a_{in} \in A_n'\}. \quad (13)$$

В области строительного материаловедения значительный интерес представляет решение задачи синтеза рецептур [5, 6], которую можно считать вектором $\bar{a} \in A$, являющимся решением оптимизационной задачи:

$$C(\bar{a}) \rightarrow \min; P(\bar{a}, \tau) \geq P_*, \tau \in [0, T], \quad (14)$$

где $C(\bar{a})$ — удельные затраты; $P(\bar{a}, \tau)$ — показатель надежности; P_* — минимально допустимое нормативное значение показателя надежности; τ — время; T — долговечность.

Для решения этой задачи необходимо использовать процедурные знания, реализующие математические модели для соответствующих классов бетона, его заданных свойств и выбранных материалов. Выбор процедурных знаний осуществляют с учетом системы экспертных высказываний

$$L_M = \{L_M^{(ij)}: \text{ (если } \Omega(K) \text{ есть } Y \wedge A_n \text{ есть } a_i, \text{ то } M \text{ есть } M_j), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, l}\}, \quad (15)$$

где M_j — множество процедурных знаний, используемых для определения расходов материалов, заданных вектором \bar{a} ; M — множество всех процедурных знаний, хранящихся в базе знаний.

Анализ использования процедурных знаний с учетом всех экспертных высказываний $L_M^{(ij)}$ позволяет установить вектор \bar{a} , соответствующий минимум целевой функции в выражении (14). Изложенное позволяет использовать процедуру синтеза оптимальных рецептур различных бетонов. Кроме того, в зависимости от значений рецептурных параметров экспертная система позволяет прогнозировать свойства бетонов и произвести их классификацию, т. е. решить задачу анализа. Разработанная база знаний в бетоноведении является открытой системой для ее расши-

рения и модификации. Ее следует рассматривать как составную часть экспертной системы в строительном материаловедении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Э. В. Экспертные системы // Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ.— М.: Наука, 1987.— 288 с.

2. Осуга С. Обработка знаний.— М.: Мир, 1989.— 293 с.

3. Минский М. Фреймы для представления знаний — М.: Энергия, 1979.— 152 с.

4. Малышев Н. Г., Берштейн Л. С., Боженок А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР.— М.: Энергоатомиздат, 1991.— 136 с.

5. Лишанский Б. А., Грушко И. М., Лазуренко А. В. Идентификация и управление структурой и свойствами бетона // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура.— 1991.— № 9.— С. 55—58.

6. Льюинг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя.— М.: Наука, 1991.— 432 с.

УДК 666.982

Ю. М. СТРАХОВ, Т. И. МАЙБОРОДА, Б. Г. РЯСНЫЙ, инженеры
(ВНИИОМШС)

Использование искровых разрядов для активации растворных и бетонных смесей

Для улучшения свойств цементных, цементно-песчаных растворов и бетонов разработаны такие технологические приемы, как сухой и мокрый домол цемента, виброактивация, комбинированное механическое и химическое воздействие на вяжущее и т. д.

Исследования [1...4] показали, что наибольшее повышение прочности можно получить при изготовлении образцов из активированного цементного теста искровыми разрядами. По результатам лабораторных исследований [1] по активации цементного теста искровыми разрядами увеличение прочности на сжатие образцов, изготовленных из активированного цементного теста, составило 87, 85 и 75 % в возрасте соответственно 1, 7 и 28 сут.

Лабораторные исследования, проведенные в бывш. ФРГ [3], подтвердили данные предыдущих авторов.

Понсковые работы, проведенные во ВНИИОМШСе [4], показали возможность активации растворных смесей новым способом. Механизм активации растворных и бетонных смесей можно выявить из рассмотрения физических процессов, возникающих при искровых разрядах в жидкости.

Искровой разряд в жидкой обрабатываемой среде характеризуется быстрым переходом энергии, запасенной в конденсаторе-накопителе, в энергию ударных волн, энергию перемещения масс обрабатываемой среды, а также тепловую и световую. Плотность тока в ос-

новной стадии разряда может достигать 10^6 А/см², при этом образуются электромагнитные поля в широком диапазоне частот.

Плотность энергии, выделяющейся в канале разряда, сравнима с плотностью лучших взрывчатых веществ и составляет более 5×10^3 Дж/см³, при этом не выделяются никакие газы. Температура плазмы канала разряда может достигать нескольких тысяч градусов. Благодаря малой сжимаемости жидкости и ее инерции при большой скорости расширения канала разряда возникает ударная волна, амплитуда давления которой может достигать нескольких тысяч МПа, распространяющаяся в обрабатываемой среде в виде волны сжатия с крутым передним фронтом. Ударные волны с определенной частотой следования можно рассматривать как спектр гармонических колебаний звуковых и ультразвуковых частот. Распространяясь во все стороны канала разряда, они воздействуют на жидкость и расположенные в ней твердые частицы.

Закономерности, полученные при изучении процессов, происходящих при искровых разрядах, протекающих в однородных жидкостях (вода, электролиты), можно использовать только для качественной оценки явлений, происходящих при обработке цементных, цементно-песчаных и бетонных смесей, так как они представляют собой неоднородную вязкую среду. Степень затухания ударной волны с увеличением расстояния будет возрастать при повышении вязкости и

неоднородности среды. Ударные волны в этом случае будут испытывать отражения и преломления на границе раздела двух сред: цементное тесто — мелкий заполнитель и цементно-песчаный раствор — крупный заполнитель. В результате энергия волн распределится на разрушение частиц, увеличение их кинетической энергии и обработку заполнителя. Это позволит интенсифицировать процессы гидратации цементных частиц, а также взаимодействия между ними и поверхностью заполнителя.

Можно предположить, что при обработке растворных и бетонных смесей искровыми высоковольтными разрядами должно происходить разрушение рыхлых коагуляционных структур и диспергирование цементных частиц.

Во ВНИИОМШСе изучали влияние искровых разрядов на свойства образцов из цементного камня, цементно-песчаных растворов и бетонов. В исследованиях использовали портландцемент марки 400 Амвросиевского и Балаклеевского цементных заводов, шлакопортландцемент марки 300 Харьковского завода, песок Основьянского карьера с $M_k=1,08$ и гранитный щебень Кременчугского карьера.

Для проведения исследований разработаны и изготовлены стенд, генератор импульсов и необходимые измерительные приборы. Исследуемые смеси обрабатывали в герметичном стальном сосуде цилиндрической формы вместимостью 10 л. В качестве положительного электрода использовали стальной стержень диаметром 10 мм, изолированный сверху трубкой из вакуумной резины. Рабочая часть электрода на длине 15...20 мм не изолирована. Отрицательный электрод жестко закрепляли внутри бака напротив положительного. Расстояние между электродами устанавливали так, чтобы амплитуда

Ю. М. Страхов, Т. И. Майборода, В. Г. Рясный, 1993

2 Бетон № 3

давления ударной волны была максимальной (затухание тока в разрядном контуре должно быть близким к единице). Режим работы установки контролировали осциллографом типа ОК-17М, регистрирующим ток в разрядном контуре с помощью безындукционного шунта. Генератор импульсных токов состоял из выпрямителя мощностью 4,5 кВа, зарядного и разрядного контуров, а также устройств управления и защиты. Накопителями электрической энергии служили конденсаторы типа ИМГ-80/1. В качестве формирующего промежутка использовали шаровой разрядник. Индуктивность разрядного контура составила 10 мкГн. Напряжение на конденсаторе-накопителе устанавливали 60...70 кВ.

В обработанных искровыми разрядами растворов и бетонных смесях, а также в эталонах определяли подвижность, удельное электрическое сопротивление, прочностные показатели, водонепроницаемость и температуру. Твердение образцов производили в естественно-влажностных условиях. Обработку смесей искровыми разрядами осуществляли при энергии единичного разряда 2000 Дж.

Как видно из табл. 1, с увеличением количества разрядов уменьшается подвижность смесей, а также удельное электрическое сопротивление цементного и цементно-песчаного растворов, что свидетельствует об увеличении в системе концентрации электролитов благодаря ускоренной гидратации трехкальциевого силиката. Удельная поверхность цемента до обработки составила 2975, после — 3650 см²/г, максимальное повышение прочности цементного камня из обработанных смесей при числе разрядов $n=120$ (состав 6) по сравнению с эталоном в возрасте 1, 7 и 28 сут составило соответственно 56, 20 и 15 %.

Петрографические исследования подтвердили полученные результаты и показали, что обработка цементного теста искровыми разрядами способствует диспергированию цементных частиц ускоренной гидратации клинкерных минералов и получению более плотной мелкокристаллической структуры цементного камня.

При изучении влияния искровых разрядов на свойства цементно-песчаных растворов наблюдались закономерности, характерные для цементного камня. Максимальное

превышение прочности раствора состава 1:1 (в весовых частях) в возрасте 1, 7, 28 сут над эталоном после обработки смеси при $n=180$ (состав 11) составило 181, 107, 52 %, а цементно-песчаного раствора состава 1:2 значительно меньше — 38, 29 и 37 %.

Обработка искровыми разрядами наиболее эффективна для малоподвижных цементно-песчаных смесей (табл. 2). Для приготовления цементно-песчаных растворов в данном случае применяли цемент марки 300. С увеличением энергии единичного разряда до 4000 Дж прочностные показатели растворов увеличиваются.

Бетонные смеси обрабатывали на стенде, описанном ранее. Как видно из табл. 3, подвижность смесей с увеличением числа разрядов сни-

жается. Это объясняется тем, что установка для проведения экспериментов работала с частотой до 10 разрядов в 1 мин. При $n=150$ разрядов опыт продолжается 15 мин. Растворные и бетонные смеси, не обработанные искровыми разрядами в течение указанного времени, несколько снижают подвижность. Возможны и другие причины снижения подвижности смесей в процессе их обработки, в частности, некоторые изменения гранулометрического состава крупного заполнителя. Максимальное превышение прочности бетонных образцов из обработанных смесей ($n=240$) над эталонами в возрасте 1, 7 и 28 сут составляет соответственно 68, 65 и 18 % (состав 3).

Таким образом, проведенные исследования подтвердили техниче-

Таблица 1

Состав растворов, мас. ч	Количество разрядов	Подвижность смеси после обработки, см	Температура смеси после обработки, °С	Предел прочности при сжатии, МПа, через сут.		
				1	7	28
1:0	—	15	—	7,8	25,8	31,7
1:0	20	14	23	8,4	27,7	32,5
1:0	40	14	34	9,5	29,0	35,7
1:0	60	13	34	10,5	30,0	36,7
1:0	100	12	44	11,1	31,0	—
1:0	120	11	46	12,2	31,0	36,7
1:1	—	15	—	3,7	14,5	21,1
1:1	40	12	37	5,7	17,2	29,9
1:1	100	11	42	7,0	25,4	—
1:1	150	10	40	10,4	29,0	33,1
1:1	180	9	43	10,4	30,0	32,1
1:2	—	15	—	—	10,0	15,5
1:2	20	15	34	—	11,0	17,7
1:2	40	15	—	—	11,1	16,6
1:2	100	14	60	—	12,1	19,0
1:2	120	14	60	—	13,7	19,5
1:2	180	14	72	—	13,8	20,0
1:2	240	14	78	—	15,0	20,5

Примечания: 1. Портландцемент Амвросиевского завода. 2. В составах 1:0 — В/Ц=0,41; 1:1 — В/Ц=0,55; 1:2 — В/Ц=0,7.

Таблица 2

В/Ц	Подвижность смеси, см		Температура смеси, °С	Предел прочности при сжатии, МПа, через, сут		
	до обработки	после обработки		1	7	28
0,42	9	—	—	1,9	14,3	21,4
	9	7,5	47	9,2	21,7	34,7
0,49	10,5	—	—	1,7	11,5	19,2
	10,5	8	52	4,4	17,7	29,7
0,52	15	—	—	1,4	—	18,8
	—	10,5	—	3,8	16,1	23,7
0,56	17,5	—	—	—	10,1	16,3
	17,5	12,5	57	—	13,2	23,3

Примечание. Над чертой — эталон; под чертой при $n=150$; $W=2000$ Дж/разр.

Таблица 3

Состав бетона, мас. ч	В/Ц	Подвижность, см	Предел прочности при сжатии, МПа, через, сут		
			1	7	28
1:1	0,49	14	14,8	13,1	21,0
25:2,34	—	6/5	8/81	18/22	25,5/25
1:1	0,65	15	—	10,5	16,8
87:3,32	—	10,5	—	13,4	19,2

Примечание. Над чертой — эталон, под чертой при $n=150$; $W=2000$ Дж/разр.; перед чертой — при $O. K.=6$ см; после черты — $O. K.=5$ см.

скую возможность активации цементных, цементно-песчаных и бетонных смесей искровыми разрядами.

При обработке искровыми разрядами растворные и бетонные смеси разогриваются, что создает благоприятные условия при проведении строительных работ в зимнее время.

В настоящее время исследования по активации растворных и бетонных смесей продолжают на установке мощностью 35 кВа, которая позволяет работать с частотой 2 Гц и обрабатывать смеси в течение более короткого промежутка времени. Это позволит повысить подвижность смеси и улучшить качество растворов и бетонов.

Выводы

Обработка растворных и бетонных смесей искровыми разрядами в среде смеси способствует ускоренному процессу их схватывания и твердения, особенно в начальные сроки, что позволяет считать активированные смеси быстротвердеющими.

УДК 666.972.16

Б. А. КРЫЛОВ, д-р техн. наук, проф. (НИИЖБ); Л. П. ОРЕНТЛИХЕР, д-р техн. наук, проф. (МИСИ); Н. А. АСАТОВ, канд. техн. наук (ТашПИ)

Бетон с комплексной добавкой на основе суперпластификатора и кремнийорганического полимера

Известно, что повышение физико-механических свойств бетона путем управления процессом структурообразования осуществляется как на стадии проектирования бетона, так и на стадиях приготовления смеси, формования изделий, твердения бетона.

В зависимости от функционального назначения к изделиям предъявляются различные требования. В частности, к железобетонным изделиям, применяемым в гидромелиоративном строительстве, наряду с повышенной прочностью и морозостойкостью предъявляется повышенная водонепроницаемость.

Для водонепроницаемости бетона опасны сквозные макропоры (фильтрующие капилляры), которые образуются в результате не-

Среднее приращение прочности на сжатие цементно-песчаных смесей состава 1:1 с разными В/Ц, обработанных различным количеством разрядов, составляет в возрасте 1, 7 и 28 сут соответственно 133, 54 и 45 %. При обработке цементно-песчаных смесей состава 1:2 получены аналогичные результаты, но с некоторым уменьшением прочности при сжатии. Наилучшие результаты получены при активации новым способом растворных и бетонных смесей с использованием портландцементов.

Петрографические исследования показали, что образцы активированного цементного камня имеют повышенное количество новообразований по сравнению с эталоном. Новообразования распределены равномерно. В активированных образцах в отличие от эталонных полностью отсутствуют поры.

Среднее приращение прочности на сжатие бетонных образцов, изготовленных из активированных новым способом образцов (состав 1:2,86:4,86), составляют 67, 65 и 20 % соответственно в возрасте 1, 7 и 28 сут.

равномерного температурного расширения компонентов бетона при термообработке, в результате пластической усадки и седиментации при уплотнении. Взаимосвязь между структурой и водонепроницаемостью бетона очень сложна. Ранее [1] отмечалось, что имеется много плотных, с точки зрения водонепроницаемости, бетонов, обладающих значительной пористостью, например, при введении в бетонную смесь воздухововлекающих добавок. При их применении в бетонной смеси появляются высокодисперсная эмульсия, минерализованные воздушные пузырьки, блокирующие сквозные каналы фильтрации и увеличивающие плотность бетона, хотя общая пористость его может возрастать.

Новый способ активации растворных и бетонных смесей показал, что подвижность обработанных смесей несколько снижается. Особенно это сказывается при активации бетонных смесей. Происходящий при этом разогрев создает благоприятные условия работ в зимнее время.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюженко М. Г., Кобзарь И. И., Стурца Т. С. Активация бетонной смеси методом электроимпульсной обработки. Безвибрационные методы в технологии бетона // Тр. ВНИИВОДГЕО. — Вып. 1. — Харьков, 1968.
2. Шенгур Г. В. Исследование применения ЭГЭ для активации цемента // Применение электрогидравлического эффекта в технологических процессах производства. — Вып. III. — Материалы республиканского совещания в Николаеве / Киев: Украинский НИИ научно-технической информации и технико-экономических исследований, 1970.
3. R. H. Artz, W. J. W. Steigerung der Zementfestigkeit durch «magnetischen» und elektrischen Funkdurchschlag. — Düsseltdorf. — Ber. 1969.
4. Страхов Ю. М., Бернштейн С. Н. Активация цементных смесей электрогидравлическим способом // Применение электрогидравлического эффекта в технологических процессах производства. — Вып. III. Материалы республиканского совещания в Николаеве. — Киев: Украинский НИИ научно-технической информации и технико-экономических исследований, 1970.

Необходимо отметить, что введение в состав бетона добавок воздухововлекающего либо газообразующего действия может снизить прочность бетона, поэтому целесообразно вводить их совместно с пластифицирующими добавками, которые обеспечат уменьшение В/Ц и таким образом компенсируют снижение прочности бетона.

Для выявления механизма повышения физико-механических свойств бетона с комплексной добавкой пластифицирующего и воздухововлекающего действия использовали суперпластификатор С-3 и кремнийорганический полимер олигоэтоксид-2 - этилгексоксисилоксан КЭ 119 — 215 (ТУ 6-02-1-498—85 Минхипрома СССР) [2]. Роль последнего заключается в гидрофобизации поверхности пор и капилляров химической фиксацией кремнийорганического соединения. Гидрофобизатор КЭ 119 — 215 работает как умеренный микропеннообразователь за счет выделяющегося в результате реакции спирта, снижающего поверхностное натяжение на границе бетонная смесь — воздух.

Исследования проводили на бетоне класса В22,5 без добавок

Ц:П:Щ=1:2,01:3,29 и с добавкой Ц:П:Щ=1:2,09:3,39 (по массе). Во всех случаях содержание песка в смеси заполнителя $r = \frac{П}{Ц+Щ}$ было равно $r=0,38$, расход цемента 350 кг/м³. В качестве вяжущего использовали портландцемент Воскресенского завода марки 400, а в качестве мелкого заполнителя — песок из подмосковного карьера с $M_k=1,88$. Крупным заполнителем служил гранитный щебень с предельной крупностью 20 мм.

Определение прочности на сжатие и растяжение (образцы-кубы с ребром 10 см), водонепроницаемости (цилиндры диаметром 15 и высотой 15 см) и морозостойкости (образцы-кубы с ребром 7 см) проводили стандартными методами.

Для изучения влияния пластифицирующих и воздухововлекающих добавок и их сочетания на технологические свойства бетонной смеси определяли подвижность бетонной смеси по ГОСТ 10181 и объем вовлеченного воздуха (помощью прибора, разработанного в Красноярском ПромстройНИИпроекте.

Как видно из результатов исследований (см. таблицу), введение суперпластификатора С-3 для получения равноподвижных смесей по сравнению с бетонами без добавок позволило сократить расход воды на 16...20 %, при этом объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси составлял 2,8 %. Необходимо отметить, что, хотя бетонные смеси с добавкой С-3 и без нее имели одинаковую подвижность (О. К. = 3,5 см), удобоукладываемость смеси с С-3 была лучше.

Введение КЭ 119—215 в состав бетона в количестве 0,05; 0,07; 0,1; 0,3; 0,5 % массы цемента при постоянной дозировке 0,5 % С-3 практически не влияет на подвижность смеси. Объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси с увеличением дозировки КЭ 119—215 до 0,1 % массы цемента увеличивается до 3 %, а дальнейшее его увеличение до 0,5 % в сочетании с С-3 почти не меняет объема вовлеченного воздуха, но может снижать подвижность бетонной смеси.

Как отмечалось выше, одним из основных факторов повышения долговечности сборных железобетонных изделий гидромелиоративного строительства является повышенная водонепроницаемость. В данной работе водонепроницаемость образцов определяли через 10 сут после термообработки. Ве-

Добавка	Количество, % массы цемента	В/Ц	О. К., см	Объем вовлеченного воздуха, %	Водонепроницаемость
—	—	0,53	3,5	1,2	4
С-3	0,5	0,53	2,2	1,2	8
С-3	0,5	0,44	3,5	2,8	12
КЭ 119—215	0,05	0,53	2,5	2,2	8
КЭ 119—215	0,07	0,53	2,0	2,0	8
КЭ 119—215	0,1	0,53	2,0	2,4	10
КЭ 119—215	0,3	0,53	1,7	1,8	8
КЭ 119—215	0,5	0,52	1,4	2,0	6
С-3+КЭ 119—215	0,5+0,05	0,44	3,2	2,8	12
С-3+КЭ 119—215	0,5+0,07	0,44	3,0	2,6	12
С-3+КЭ 119—215	0,5+0,1	0,44	2,8	3,0	14
С-3+КЭ 119—215	0,5+0,3	0,44	1,8	2,6	12
С-3+КЭ 119—215	0,5+0,5	0,44	1,6	3,0	12

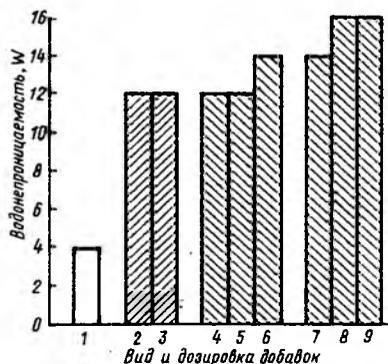
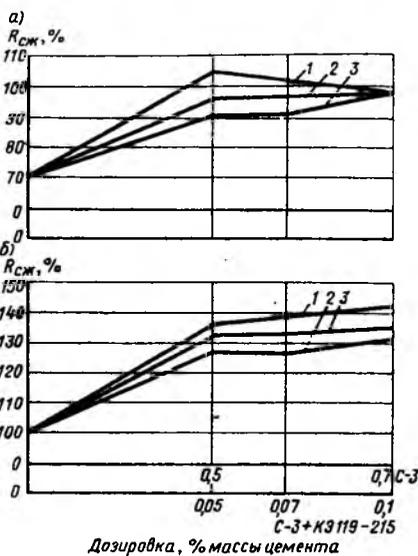


Рис. 1. Водонепроницаемость бетона в зависимости от вида и дозировки добавок 1 — контрольная; 2, 3 — с С-3 соответственно 0,5 и 0,7 % массы цемента; 4...9 — с С-3+КЭ 119—215 соответственно 0,5+0,05; 0,5+0,07; 0,5+0,1; 0,7+0,05; 0,7+0,07; 0,7+0,1 % массы цемента

Рис. 2. Прочность бетонов в зависимости от вида и дозировки добавок а — после ТВО; б — в возрасте 28 сут нормального твердения; 1 — С-3; 2 — 0,5 % С-3+КЭ 119—215; 3 — 0,7 % С-3+КЭ 119—215

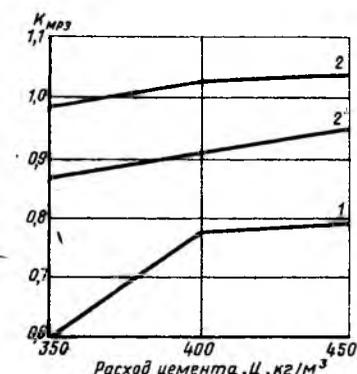
Рис. 3. Морозостойкость бетона в зависимости от расхода цемента 1 — без добавок; 2 — с комплексной добавкой; 1, 2 — 150 циклов; 2' — 300 циклов



дение в состав бетона суперпластификатора С-3 без снижения расхода воды повышает водонепроницаемость на две марки. Исследования водонепроницаемости бетона с кремнийорганическими полимерами КЭ 119—215 были выполнены впервые. Введение 0,05 и 0,07 % КЭ 119—215 способствует повышению водонепроницаемости на три марки, а при дозировке 0,1 % массы цемента — на четыре. Дальнейшее увеличение дозировки КЭ 119—215 до 0,5 % массы цемента на повышение водонепроницаемости не повлияло.

При введении в состав бетона С-3 на равноподвижных смесях водонепроницаемость повышается на четыре марки, а при введении комплексной добавки С-3+КЭ 119—215 в соотношениях 0,5+0,5 и 0,5+0,07 % массы цемента были получены одинаковые марки по водонепроницаемости W12, т. е. водонепроницаемость повысилась на четыре марки. Самая высокая марка по водонепроницаемости W14 была получена при соотношении компонентов комплексной добавки 0,5+0,1 % массы цемента.

Исследования влияния дозировки С-3 в отдельности и в комплексе с кремнийорганическим полимером



КЭ 119—215 на водонепроницаемость бетона (рис. 1) показали, что увеличение дозировки С-3 с 0,5 до 0,7 % массы цемента практически не меняет водонепроницаемость, несмотря на то, что В/Ц снижается. Однако при 0,7 % С-3 в комплексе с КЭ 119—215 и увеличением количества последней до 0,1 % массы цемента водонепроницаемость, по сравнению с добавкой 0,5 % С-3 повышается на 2...3 марки.

Как видно из рис. 2, с увеличением дозировки С-3 с 0,5 до 0,7 % в комплексе С-3+КЭ 119—215 прочность бетонов после ТВО повышается незначительно. Даже при введении С-3 в отдельности проч-

ность бетона после ТВО снижается. С увеличением дозировки с 0,5 до 0,7 % массы цемента прочность бетонов нормального твердения в возрасте 28 сут в отдельности и в комплексе С-3+КЭ 119—215 повышается.

Результаты исследований морозостойкости с комплексной добавкой С-3+КЭ 119—215 показали, что она выше по сравнению с бетоном без добавок и зависит от расхода цемента. Как видно из рис. 3, с увеличением расхода цемента морозостойкость повышается.

Таким образом, кремнийорганический полимер КЭ 119—215 типа олигоэтокси - 2 - этилгексоксилоксан является воздухововлекаю-

щей добавкой и способствует образованию в структуре бетона равномерно распределенных замкнутых пор.

Введение в состав бетона кремнийорганического полимера КЭ 119—215 в комплексе с суперпластификатором С-3 повышает водонепроницаемость, морозостойкость и прочность бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стольников В. В. Исследования по гидротехническому бетону. — М.: Госэнергоиздат, 1962. — 330 с.
2. Орентлихер Л. П., Новикова И. П. Улучшение гидрофизических свойств бетона наружных ограждений // Пути повышения эффективности и долговечности наружных панелей в условиях дальневосточного региона. — Хабаровск, 1989. С. 71—79.

УДК 624.012+620.172.24

Г. Н. СТАВРОВ, д-р техн. наук, проф., В. А. КАТАЕВ, инж. (Санкт-Петербургское высшее военное инженерное строительное училище)

Предельные деформации бетона при одноосном динамическом нагружении

Бетон является неоднородным материалом, зависимость между напряжениями и деформациями которого связана различными факторами. Поэтому строгое нормирование деформаций затруднительно даже для случая одноосного напряженного состояния. Более того, в различных источниках предлагается применять предельные значения, отличающиеся иногда в несколько раз [1, 2]. Еще более непредсказуемыми являются предельные деформации при динамическом нагружении, которые изменяются в зависимости от режима нагружения.

Достоверные и достаточно общие результаты можно получить в случае правильного понимания и отображения физической картины деформирования образцов исследуемого материала. В источнике [3] обращено внимание на то, что в большинстве случаев для исследования физико-механических свойств бетонов при одноосном нагружении используют образцы, напряженно-деформированное состояние которых в общем случае отличается от одномерного вследствие того, что они представляют собой трехмерные тела (кубы, призмы, цилиндры), размеры которых во всех направлениях

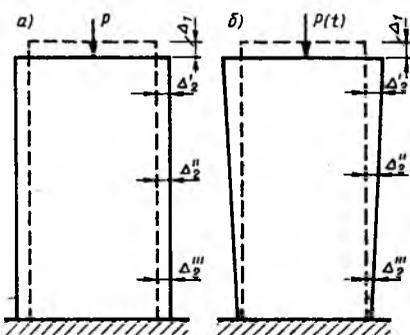
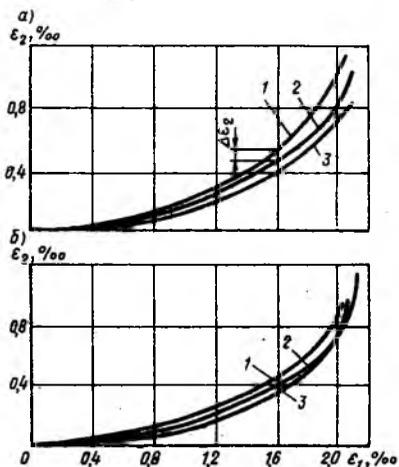


Рис. 1. Схема деформирования бетонных образцов при различных режимах одноосного нагружения
а — статическое нагружение ($\Delta_2 = \Delta_2' = \Delta_2''$);
б — динамическое ($\Delta_2 \neq \Delta_2' \neq \Delta_2''$)



соизмеримы между собой. При статических испытаниях вследствие малых скоростей нагружения и при отсутствии сил трения по опорным плоскостям деформации равномерно распределяются по всему телу образца, в результате чего эффект работы материала в сложном напряженном состоянии практически не проявляется (рис. 1). При динамическом нагружении картина деформирования резко изменяется. Анализ испытаний бетонных призм свидетельствует о том, что при динамическом нагружении наблюдается некоторое запаздывание деформаций по сравнению с результатами статических испытаний (см. рис. 1), причем поперечные деформации в сравнении с продольными развиваются менее интенсивно, чем при статическом нагружении (рис. 2). Запаздывание поперечных деформаций приводит к появлению напряжений в поперечном направлении, которые сжимают образец как обойма. Это явление названо «эффектом динамической обоймы». Такие условия деформирования нельзя рассматривать как одноосное сжатие, так как материал находится в сложном напряженном состоянии. Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования бетона [4] показали, что при сложном напряженном состоянии, а именно в таких условиях находится образец при одноосном динамическом нагружении, изме-

Рис. 2. Зависимость $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ для бетонов классов В25 (а) и В40 (б) при статическом и динамическом нагружении. 1 — статическое нагружение; 2, 3 — динамическое нагружение со скоростью перемещения активного захвата 10 и 100 мм/с

яются предельные продольные деформации.

Таким образом, для более полного описания процессов деформирования бетона и оценки его деформативности при различных режимах одноосного динамического нагружения необходимо использовать способы, применяемые при оценке напряжений и деформаций материалов, находящихся в сложном напряженном состоянии. При этом предельные деформации во всех направлениях имеют различные значения и зависят от соотношения напряжений и деформаций и условий нагружения бетона. Исходя из этого для оценки предельной деформативности бетона необходимо принять какой-либо обобщенный показатель деформаций. В соответствии с рекомендациями теории пластичности [5] можно использовать интенсивность деформаций ϵ_i . Ранее были предложены условия, исходя из которых можно определять предельную интенсивность деформаций $\epsilon_{i,u}$ в зависимости от условий напряженно-деформированного состояния материала и его предельных деформаций при статическом одноосном нагружении ϵ_u

$$\epsilon_{i,u} = K\epsilon_u, \quad (1)$$

где K коэффициент условий работы бетона в сложном напряженном состоянии;

$$K = \lambda \frac{1-\delta}{2} + \sqrt{\left[\frac{\lambda(1-\delta)}{2} \right]^2 + \frac{R_{bt}}{R_b} (1-\delta)}$$

$$\lambda = 3 \left(1 - \frac{R_{bt}}{R_b} \right) \frac{\sigma_m}{\sigma_i};$$

$$\delta = \left(1 - \frac{S^3}{\sigma_i^3} \right);$$

$$l = 1 - \frac{3R_r}{R_b R_{bt}};$$

$$S^3 = 13,5(\sigma_1 - \sigma_m)(\sigma_2 - \sigma_m)(\sigma_3 - \sigma_m);$$

R_b, R_{bt}, R_r — пределы прочности бетона при одноосном статическом сжатии, растяжении и сдвиге;

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3};$$

σ_i — текущая интенсивность напряжений.

Такой способ определения деформаций позволяет проиллюстрировать физический смысл изменения предельных продольных деформаций $\epsilon_{i,u}$ при одноосном динамическом нагружении и оценить их численно.

Из условий одноосного статического нагружения

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_3 = \epsilon_2 = -\nu \epsilon_1; \\ \sigma_2 = \sigma_3 = 0; \\ \dot{\epsilon}_1 = \dot{\epsilon}_2 = \dot{\epsilon}_3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

следует, что $\epsilon_i = \epsilon_1$ и $K = 1$, поэтому $\epsilon_{i,u} = \epsilon_u$.

При выполнении условий динамического нагружения (см. рис. 2)

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_3 = \epsilon_2 = -\nu \epsilon_1 + \Delta \epsilon_2; \\ \sigma_2 = \sigma_3 \\ \dot{\epsilon}_2 = \dot{\epsilon}_3 = -\dot{\nu} \epsilon_1 + \Delta \dot{\epsilon}_2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Картина деформирования несколько изменяется

$$\epsilon_i = \epsilon_1 + \frac{\Delta \epsilon_2}{1+\nu}, \quad (4)$$

отсюда

$$\epsilon_{i,u} = K\epsilon_u + \frac{\Delta \epsilon_2}{1+\nu}. \quad (5)$$

Коэффициент K можно рассчитать исходя из напряжений, определяемых в соответствии с Рекомендациями [3]

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 = E' \left[\epsilon_1 + \frac{2\nu \Delta \epsilon_2}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right] + \\ + \eta \left[\dot{\epsilon}_1 + \frac{2\nu \Delta \dot{\epsilon}_2}{(1+\nu)(1-2\nu)} \right]; \\ \sigma_2 = E' \frac{\Delta \epsilon_2}{(1+\nu)(1-2\nu)} + \\ + \eta \frac{\Delta \dot{\epsilon}_2}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где E' — переменный секущий модуль деформаций: $E' = f(\epsilon_i, \epsilon_{i,u})$; η — линейный коэффициент вязкости

$\Delta \epsilon_2$ представляет собой динамическое запаздывание поперечных деформаций по сравнению с продольными при сравнении с результатами статических испытаний (см. рис. 2). Его можно получить из эксперимента или в результате прямого динамического расчета. Из системы (6) следует, что при $\Delta \epsilon_2$ отличном от нуля в результате «эффекта динамической обоймы» σ_2 становятся положительными (сжимающими). При этом коэффициент K возрастает, что и приводит в конечном итоге к увеличению предельных продольных деформаций. Сравнение результатов с экспериментальными данными (см. таблицу) свидетельствует об удовлетворительном совпадении.

Предлагаемый метод позволяет объяснить довольно разрозненные

Класс бетона	Скорость нагружения, мм/с	Предельные продольные деформации, %
B25	10	2,35/2,39
B25	100	2,51/2,48
B40	10	2,28/2,34
B40	100	2,44/2,45

Примечание. Перед чертой — опытные значения, после черты — расчетные.

данные о деформативности бетона, полученные разными авторами при динамических испытаниях образцов. Использование условий, описывающих изменение деформативности бетона в сложном напряженном состоянии для расчета конструкций, подвергающихся одноосному динамическому воздействию, позволит получать достоверные результаты без искусственного занижения предельных деформаций. Так, расчет бетонных призм методами прямого динамического расчета с использованием условия (1) и уравнений (6) позволил получить диаграммы $\sigma - \epsilon$ практически повторяющие экспериментальные кривые.

Аналогичные рассуждения можно распространить и на конструкции, находящиеся в более сложных условиях нагружения, например изгибаемые элементы. Однако наглядно проиллюстрировать изменение деформативности в этих случаях более сложно. Тем не менее предлагаемые условия применимы для расчета и нормирования предельных деформаций бетона в различных конструкциях методами прямого динамического расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Новос о прочности железобетона. — М.: Стройиздат, 1977. — 272 с.
- Кодекс-образец ЕКБ -- ФИП. — М.: НИИЖБ, 1984. — 284 с.
- Ставров Г. Н., Катаев В. А. О механизме деформирования и упрочнения бетона при одноосном динамическом нагружении // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. — 1990. — С. 3—6.
- Кареев Н. И. К построению условий прочности бетонов при неоднородных напряженных состояниях // Бетон и железобетон. — 1985. — № 10. — С. 35—37.
- Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. — М.: Высшая школа, 1968. — 512 с.

Д. А. КОРШУНОВ, М. В. СИДОРЕНКО, кандидаты техн. наук (НИИСК);
Г. Н. ЯЛОВ, инж. (ПО «Укрэнергоконструкция»)

Определение напряжений в бетоне конструкции

Напряжения в бетоне определяют для выявления состояния эксплуатируемых конструкций (в том числе при реконструкции), а также при изготовлении сборных элементов и возведении монолитных конструкций для контроля преднапряжения (особенно в случае самонапряжения). Обычно для этого производят расчет, результат которого содержит неконтролируемые погрешности из-за недостаточной определенности нагрузок и воздействий, условий расчетных схем. Напряжения σ можно также установить по классической зависимости

$$\sigma = \epsilon E \quad (1)$$

с использованием опытных значений деформации ϵ и модуля упругости E . Действительную деформацию бетона конструкции можно определить методом «Дельта» тензометрированием при местной разгрузке материала (рис. 1). Для этого к поверхности конструкции прикрепляют тензорезистор, вблизи него делают прорезь в бетоне и измеряют деформацию ϵ_{uld} , а действительную деформацию бетона для использования зависимости (1) устанавливают по выражению

$$\epsilon = A \epsilon_{uld}, \quad (2)$$

где A — характеристика испытаний.

Устройство «Дельта» включает испытательный блок с рабочим тензорезистором, соединенным с тензометрическим прибором и режущим диском, присоединенным к электродрели. Особенность заключается в разъемном прикреплении тензорезистора к поверхности конструкции вследствие прижатия через накладку из пористой резины.

Предварительными исследованиями установлено, что в диапазоне $C/H = 0,8 \dots 1,3$ применима зависимость

$$A = 1 + 0,75 (C/H)^{3,15}. \quad (3)$$

На практике можно ограничиться устройством прорези глубиной H в пределах толщины защитного слоя бетона, так что она не вызывает

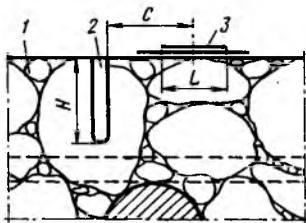


Рис. 1. Схема испытания методом «Дельта»
1 — конструкция; 2 — разгрузочная прорезь; 3 — тензорезистор с длиной активной базы L

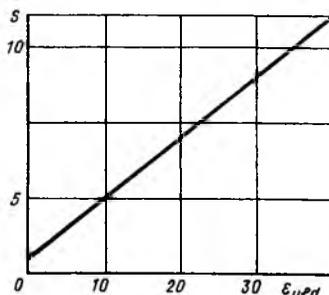


Рис. 2. Опытная зависимость S от ϵ_{uld} (значения деформации умножены на 10^6)

заметного повреждения конструкции. Приближение C места измерения деформации к прорези должно быть минимальным. Удалось достичь отношения $C/H = 1$, так что по выражению (3) $A = 1,75$ (разгрузка примерно на 60 %).

Для экспериментов использовали 60 призм размером $40 \times 10 \times 10$ см, изготовленных из обычного тяжелого бетона с заполнителем крупностью до 20 мм и испытанных в разном возрасте при $R = 18 \dots 42$ МПа и $\sigma = (0,45 \dots 0,75)R$ в течение 6...10 мин.

Установлено, что среднеквадратическое отклонение единичного измерения деформации не зависит от свойств испытываемого бетона (рис. 2). Полученные опытные результаты хорошо аппроксимируются зависимостью

$$S = (3 \cdot 10^{-5} + 0,2 \frac{\epsilon_{uld}}{\sqrt{m}}), \quad (4)$$

где m — число испытаний на контролируемом участке.

Выражение (4) позволяет получить результат с ограниченной погрешностью. Например, при среднем значении $\epsilon_{uld} = 30 \cdot 10^{-5}$ отн. ед.

и заданном максимальном значении коэффициента вариации $v = S/\epsilon_{uld} = 0,125$, на контролируемом участке следует выполнить $m = 6$ испытаний. Для этого требуется не более 1 ч.

Наиболее точно определять модуль упругости бетона непосредственно в конструкции. Однако для этого невозможно применить известную зависимость его от плотности материала и скорости прохождения в нем ультразвуковых колебаний, так как нельзя измерить действительное значение скорости. Не подходит и резонансный метод, который сложно реализовать, и он весьма чувствителен к условиям закрепления конструкции и ее действительной массе.

Поэтому на практике приходится устанавливать модуль упругости по известным зависимостям от прочности бетона. Для определения последней непосредственно в конструкциях известно много методов. Нужно только отметить отсутствие норматива погрешности используемой зависимости, например принятой в нормах проектирования. Модуль упругости можно достоверно определить в результате стандартизированного ГОСТ 24452 испытания образцов того же бетона. Это не уменьшает необходимости нахождения деформативной характеристики бетона в самой конструкции, например, благодаря местному нагружению в той же разгрузочной прорези. Но известные технические решения такой задачи неудобны для производственных испытаний.

Выводы

Напряжение в бетоне конструкции можно установить по формуле (1) с использованием действительной деформации, полученной по выражению (2) тензометрическим методом «Дельта». Он исследован в НИИСКе и успешно опробован в производственных условиях ПО «Укрэнергоконструкция».

Дальнейшее развитие техники испытаний связано с созданием удобного метода для опытного определения модуля упругости бетона в месте измерения деформации.

УДК 69.057.12—413

Д. Ф. ТОЛОРАЯ, канд. техн. наук (ВНИИжелезобетон); В. В. ЦЫРО, канд. техн. наук, Э. И. МАРЧЕНКО, инж. (СКТБ «Стройиндустрия»)

Новые технологии для производства сборного железобетона

Наметившееся в практике снижение конкурентоспособности сборного строительства в основном объясняется сохраняющимся длительным временем техническим отставанием заводского производства бетонных и железобетонных конструкций и изделий, особенно низким уровнем его технологической организованности, механизации и автоматизации. При сложившемся производстве, в том числе наиболее прогрессивном конвейерном, не достигается повышения его эффективности, отдельные усовершенствования технологических процессов и оборудования приводят лишь к частичным результатам. В перспективе кардинальное решение должно обосновываться на общепромышленных, с учетом специфических особенностей, принципах организации технологических процессов, их комплексной механизации и автоматизации. Основными из них представляются следующие*:

ориентация на выпуск продукции широкой и изменяющейся номенклатуры, характеризующейся эффективностью, как в сборном, так и других областях строительства; переход на технологическую специализацию производства без разделения заводов на самостоятельные технологические линии и общезаводскую концентрацию однородных технологических процессов в объемах, отвечающих условиям применения высокопроизводительного автоматизированного оборудования;

организация транспортных процессов с предельно минимальными грузопотоками и числом перегрузок с помощью передвижного (относительно изготавливаемых изделий) технологического оборудова-

ния со сменными рабочими органами и преимущественным использованием методов вертикального и внутреннего формования;

применение универсальных длиномерных или коротких формовочных стендов и поддонов, в том числе вертикальных, со сменными индивидуальными габаритными рамами;

использование эффективных исходных материалов и технологических процессов: интенсивного пе-

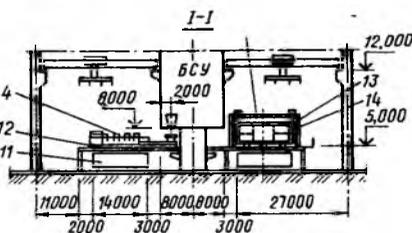
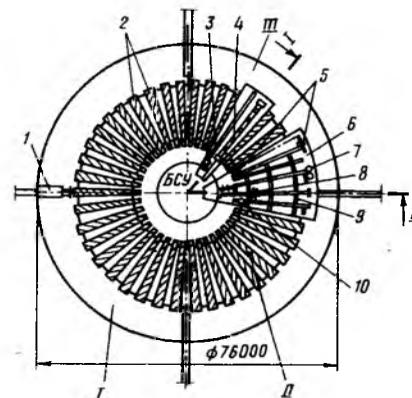


Рис. 1. Круговое производство

1 — самоходная тележка; 2 — вертикальные теплоаккумулирующие стенки-поддоны; 3 — бетоноукладчик; 4 — виброштанга; 5 — механизм распалубки; 6 — сектор подготовки формовочных рам; 7 — механизированная установка для навивки арматуры; 8 — машина чистки и смазки рам; 9 — конвейер перемещения; 10 — машина чистки и смазки отсеков; 11 — формообразующая рама; 12 — передвижная платформа; 13 — подъемник рамы с изделием; 14 — снижатель готовой рамы; I — зона выдержки, комплектации и ремонта изделий; II — формовочная зона; III — зона БСУ

ремешивания бетонных смесей, их адресной подачи, непрерывного армирования, горячего формования, внутреннего вибрирования и т. д.

С учетом указанных принципов ВНИИжелезобетоном и СКТБ «Стройиндустрия» разработки технические решения по заводам нового поколения мощностью 30...150 тыс. м³. Ниже в качестве примеров описываются два из них.

Производство мощностью 150 тыс. м³ изделий размещается в здании нового зального типа и организовано по круговой технологической схеме с центральным бетоносмесительным узлом, вокруг которого расположены радиальные формовочные отсеки-поддоны и над ними передвижные формовочные секторы и обслуживающая платформа (рис. 1).

Круглое производственное здание запроектировано радиусом 35...40 м. Его центральная часть — бетоносмесительное отделение — представляет собой круглую башню радиусом 6...8 и высотой 25...30 м. Средняя зона круглого производственного здания шириной 10...15, длиной по периметру 60...80 м — формовочная. Основное оборудование — вертикальные периодически переставляемые по кругу друг за другом универсальные поддоны-отсеки длиной 9...12 и высотой 3 м (40...60 шт.).

В рабочем положении между поддонами располагаются навесные индивидуальные для каждого конкретного изделия или их групп габаритные рамы, вкладыши и т. д. При указанных размерах поддонов путем регулирования расстояния между ними и применения съемной бортовой оснастки в них можно изготавливать конструкции и изделия практически любых габаритов для жилищно-гражданского строительства.

Подготовительные процессы перенесены на верхний уровень и осуществляются с помощью передвижных над поддонами секторов-платформ (2 шт.). На первой платформе смонтирован короткий конвейер с механизмами: подъема рам с изделиями; резки концов арматуры; разборки рам; распалубки и отпуска изделий; чистки, смазки и сборки габаритных рам; навивки арматуры; спуска готовой рамы в

* Толорая Д. Ф. О концепции создания автоматизированного производства сборного железобетона // Бетон и железобетон. — 1991. — № 4. — С. 2—4.

форму. На второй платформе, следующей по кругу за первой, размещены передвижной бетоноукладчик или бункер адресной подачи бетонной смеси и пакет внутренних длинномерных спускающихся в формы мелкоразмерных и тонкостенных вибраторов.

Третья зона шириной по радиусу 5...10 м отведена для выполнения вспомогательных работ и обслуживается мостовым краном грузоподъемностью 10...15 т, пролетом 24...30 м с высотой подкрановых путей 10...15 м. Готовые изделия после распалубки на платформе подготовки форм краном перемещают на посты доводки, выдержки и контроля. При необходимости элементы панелей наружных стен проходят специальные посты сборки, заливки утеплителей и комплектации. Вывоз готовой продукции осуществляется из специально выделенных мест производственного здания.

Однако основное назначение рассматриваемой зоны заключается в организации и обеспечении переналаживаемости производства на современном техническом уровне. Соответственно в ней расположены посты хранения, переналадки и ремонта сменного оборудования и оснащения габаритных рам, вкладышей, накладок и т. д. Кроме того, в зоне организованы вспомогательные и служебные работы разного рода.

В целом, предназначенное к применению оборудование в основном новое. Однако это преимущественно распространяется на конструкторскую и транспортную части машины и механизмов. В начальный период разработок рабочие органы, как правило, сменные, принципиальным по сравнению с известными, изменениям не подвергаются.

Основные особенности применяемых технологических процессов и оборудования следующие.

Составы, режимы приготовления и формования бетонных смесей, как правило, подлежат оптимизации в зависимости от конкретных требований производственных процессов и эксплуатационных свойств бетонов. В связи с этим в бетоносмесительный узел закладываются возможности использования большего разнообразия составляющих бетона, более точного их дозирования и повышения продолжительности процесса перемешивания смеси. Бетоносмесители приня-

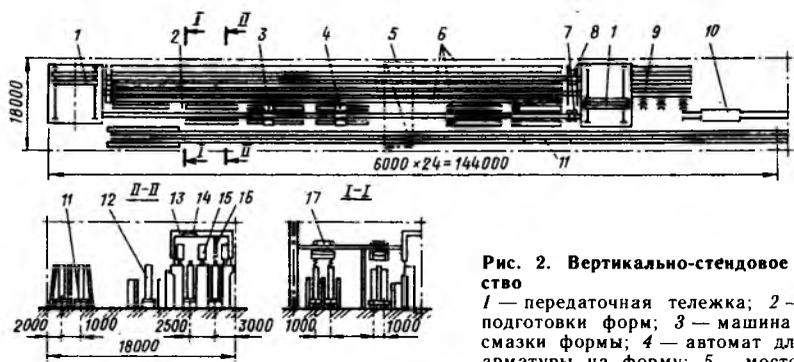


Рис. 2. Вертикально-стендовое производство

1 — передаточная тележка; 2 — конвейер подготовки форм; 3 — машина чистки и смазки формы; 4 — автомат для навивки арматуры на форму; 5 — мостовой кран; 6 — вертикальный формовочный стенд; 7 — машина чистки и смазки стенда; 8 — передаточное устройство; 9 — пост ремонта изделий; 10 — самоходная тележка; 11 — транспортный конвейер; 12 — передвижная складывающаяся форма; 13 — вибробалка; 14 — самоходная траверса; 15 — раздаточный бункер; 16 — механизм раскрытия и сборки формы; 17 — автомат-перекладчик

ты передвижными по кругу под расходными бункерами, с поочередным, в соответствии с технологической последовательностью, поступлением в них составляющих смеси и ее приготовлением в оптимальных режимах. Передвижные бетоносмесители в некоторых случаях могут быть проходными в радиальных направлениях и используются для дозированной выдачи готовой смеси непосредственно в формы.

Подача и распределение бетонной смеси осуществляются по обычной схеме с помощью передвижных в радиальном направлении бетоноукладчиков или бункеров, которые проходят в центральной зоне под бетоносмесителями, а после загрузки — на формовочной платформе.

В формовочной зоне радиальные отсеки-поддоны с твердеющими между ними изделиями составляют круглый пакет с разрывом на участке распалубки изделий и подготовки форм. Такой пакет из-за значительной массивности в процессе тепловлажностной обработки бетона характеризуется минимальным расходом тепла. Кроме этого применение в конструкциях поддонов эффективных теплозащитных материалов обеспечивает высокие теплоаккумулирующие свойства. Потери тепла на участке подготовки формы в течение 0,5...1 ч минимальны.

Пакет поддонов с изделиями в процессе твердения бетона остается неподвижным. Его движение осуществляется лишь на участке разрыва пакета.

На передвижной платформе после поднятия и установки в передней ее части формовочной рамы с готовым изделием последовательно по конвейеру осуществляются все подготовительные технологические процессы.

Рассматриваемое предложение можно использовать и в упрощен-

ном виде с применением обычных форм, располагаемых вокруг бетоносмесительного узла и в зоне действия бетоноукладчиков кругового движения.

Второе решение рассчитано на использование при техническом перевооружении или реконструкции действующих заводов сборного железобетона. Производство мощностью 60 тыс. м³ изделий размещается в пролете унифицированных производственных зданий длиной 144 и шириной 18 м (рис. 2).

Как и в первом случае, производство стендовое и обосновано на технологической специализации и применении вертикальных теплоаккумулирующих поддонов-стенков, передвижного формовочного и другого оборудования, индивидуальных габаритных формовочных рам, внутреннем вибрационном формовании и т. п. При заданных размерах производственной площади поддоны-стенки приняты неподвижными длиной 90 м и представляют вариант длинных стендов в вертикальном исполнении. Вертикальные стенки параллельны (3 шт.) с расположенными между ними двумя формовочными полками. В них размещаются специальные длиной 6...10 м двухсторонние складывающиеся в горизонтальном направлении формы со сменными индивидуальными габаритными формовочными рамами. Формовочный участок огибается цельным или составным конвейером, на котором последовательно расположены специализированные посты: вывода форм с изделиями; распалубки, съема и отпуска изделий, чистки, смазки, армирования и подготовки форм с оснащением индивидуальными габаритными ра-

мами; ввода готовой формы между вертикальными стенками в формовочную полосу. В пролете производственного здания расположены также оборудование и пост транспортирования бетонной смеси, арматуры, готовых изделий, их доводки, комплектации и выполнения всех вспомогательных работ.

Производственные циклы на формовочных полосах сдвигаются таким образом, что когда на одном из них выполняются формовочные процессы, то на другом — тепловлажностная обработка бетона.

После завершения формовочного процесса на первой полосе по заданному температурному режиму осуществляется тепловлажностная обработка бетона с передачей тепла от стенок стенда, а для толсто-стенных изделий также из тепловой рубашки форм. На второй полосе после завершения процесса твердения бетона производится складирование находящихся в ней форм с отводом изделий от стационарных стенок на 30...150 мм. Формы с готовыми изделиями поочередно с помощью передней передаточной тележки заталкиваются на нее и передаются на первый пост распалубки конвейера подготовки форм. За последней формой проходит машина чистки и смазки стенок формовочной полосы, а сразу за ней новые готовые формы. После полного заполнения формовочной полосы и расстановки

форм в рабочем положении, они раскрываются с обеих сторон движением габаритных рам до упора к вертикальным стационарным стенкам.

Бетонная смесь из расположенного обычно вне производственного здания бетоносмесительного узла подается в формы бетоноукладчиком или самоходными бункерами адресной подачи. Пути движения последних могут быть устроены по стенкам стенда или быть подвижными. Уплотнение бетонной смеси в формах осуществляется навешенными на передвижную балку глубинными вибраторами.

В пролете установлены два транспортные конвейера, на которых изделия проходят посты дополнительных работ технического контроля, нормативной выдержки и т. д. Арматурные, комплектующие и другие изделия поступают в контейнерах к конвейеру подготовки форм. Все транспортные операции в пролете выполняются мостовым краном грузоподъемностью 10 или 15 т.

При изготовлении в отдельно взятых производственных циклах одного вида изделий или изделий одной толщины, производство значительно упрощается. Изделия, как и в первом решении, формируются с размещением габаритных рам непосредственно без применения специальных форм между вертикаль-

ными стенками, из которых центральная является неподвижной, а крайние по всей длине — передвижными.

В разработанных технических решениях по новым производствам сборного железобетона используются общепромышленные принципы организации технологических процессов и создания в них условий для эффективного применения техники высокого уровня, комплексно-механизированного и автоматизированного оборудования. Такой подход приводит к резкому улучшению технико-экономических показателей (см. таблицу).

Показатель	Производство в круговом здании	Производство в унифицированном здании
Годовой выпуск продукции, тыс. м ³	150	60
Производственная площадь, м ²	4500	2400
Выработка на одного работающего, м ³	4500	1900
Удельная металлоемкость, кг/м ³	19	13
Уровень механизации, %	88	85
Уровень автоматизации	87	80

В дальнейшем целесообразно продолжить работы по конкретному проектированию производств с высоким уровнем механизации и автоматизации.

НОВОЕ ПОСОБИЕ

В нашей стране производится более 10 млн. м³ различных предварительно напряженных железобетонных конструкций. Почти все заводы пользуются при этом «Руководством по изготовлению предварительно напряженных железобетонных конструкций», разработанным НИИЖБ и изданным в 1975 г.

За прошедшие годы произошли значительные изменения в рассматриваемой области: переработаны все стандарты, технические условия; освоено производство новых классов арматурных сталей, созданы новые машины для заготовки и натяжения арматуры и т. д.

НИИЖБ взамен указанного Руководства выпустил новое Пособие по изготов-

лению предварительно напряженных железобетонных конструкций. Пособие состоит из 103 страниц машинописного текста с 35 рисунками и 23 приложениями.

Новое Пособие — необходимый нормативный документ при производстве предварительно напряженного железобетона.

Пособие печатается с оригинал-макета, подготовленного Стройиздатом, малыми сериями на высококачественной бумаге формата А4 с помощью копировальной машины фирмы Ренк-ксерокс. Цена Пособия в I кв. 1993 г. 2900 руб. без НДС.

ЗАЯВКИ НАПРАВЛЯТЬ ПО АДРЕСУ:

**109428, МОСКВА, 2-Я ИНСТИТУТСКАЯ УЛ., Д. 6, НИИЖБ, СЕКТОР МАРКЕТИНГА,
ТЕЛ. 174-85-48, 174-82-92, 171-93-71**

УДК 691.51/.55:625.012.4

С. И. ПОЛТАВЦЕВ, Ю. В. ЕГОРОВ, А. В. УБЕЕВ, кандидаты техн. наук

Бесцементные и малоцементные вяжущие для монолитного строительства

Работами ученых доказана перспективность получения вяжущих низкой водопотребности (ВНВ) в результате механохимической активации клинкерного цементного вяжущего. Повышенные затраты электроэнергии и времени на помол компенсируются увеличением прочности бетонов на их основе и возможностью использования ВНВ в монолитном строительстве при отрицательных температурах. Синтез активированных бесцементных вяжущих композиций (АБВК) на алюмосиликатной матрице не имеет аналогов в мировой практике, поэтому потребовалось детальное изучение механизма формирования активированных структур.

Активацию известково-золяного, перлитового, -шлакового и других пуццолановых вяжущих проводили путем совместного измельчения в слабощелочной среде до $S_{уд} = 4500-6000 \text{ см}^2/\text{г}$. В качестве пластифицирующей щелочной добавки использовали черный шлак — отход производства Селенгинского целлюлозно-картонного комбината, представляющий собой высокомолекулярную смесь лигносульфонатов кальция, органических кислот и щелочных сернистых и сернокислотных солей. Методика приготовления (АБВК) заключалась в следующем (на примере известково-золяной композиции). Негашеную известь и золу-унос измельчали с пластифицирующей добавкой в количестве 1,5...3 % массы в шаровой или планетарной мельнице в сухом или в виде суспензии ($V/T=1$) при гидромеханической активации. Из оптимальных составов изготавливали

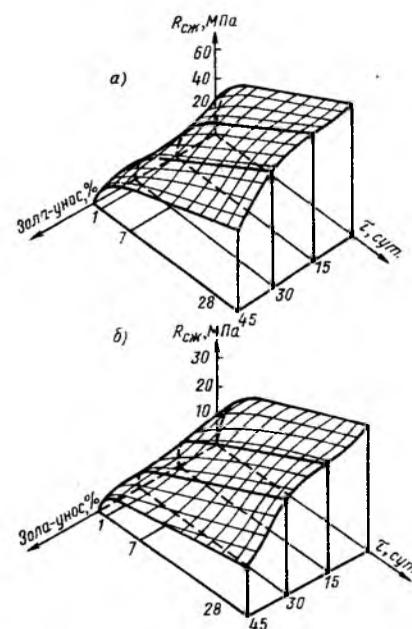
стандартные растворные образцы-балочки размером $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$ на вольском песке в соотношении АБВК:П=1:3, которые испытывали после пропаривания по режиму $2+8+2 \text{ ч}$ и после нормального твердения в возрасте 28 сут. Результаты испытаний представлены в таблице. При совместном помоле золы с щеделом до $S_{уд} = 6000 \text{ см}^2/\text{г}$ на 100...120 % увеличивается прочность известково-золяного камня, сопровождающаяся уплотнением структуры, повышением средней плотности и морозостойкости, однако прочность образцов нормального твердения через 28 сут составляет 50...60 % прочности образцов, твердеющих при пропаривании.

Для монолитного бетонирования конструкций без тепловлажностной обработки определены экспериментальные составы для цементно-золяных вяжущих композиций, используемых в условиях раздельного приготовления бетонной смеси. Гидромеханическая активация заключалась в совместном мокром помоле части портландцементного клинкера с золой-уносом в роторно-пульсационном аппарате (РПА) до $S_{уд} = 5800 \text{ см}^2/\text{г}$ с суперпластификатором Н-3 нафталинформальдегидного типа. Использовали портландцементный высокоалитовый клинкер Воскресенского цементного завода и золу-унос Московской ТЭС-22. В исследованиях преднамеренно не вводили противоморозные добавки (ССБ, поташ и др.), чтобы установить влияние механохимической активации на твердение малоцементных вяжущих при отрицательных температурах. Ре-

зультаты испытаний образцов балочек представлены на рисунке. При твердении в нормальных условиях снижение V/T в цементном растворе с 0,4 до 0,32 для чистого, предварительно измельченного до $S_{уд} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ портландцементного клинкера, прошедшего гидромеханическую активацию в РПА с суперпластификатором, повысило прочность в 1,5 раза. Ввод 30 % золы позволяет сохранить высокую прочность образцов в возрасте 28 сут. Несмотря на увеличение количества золы от 15 до 30 % V/T сохранялось постоянным.

Присутствие значительного количества суперпластификатора (2,5 % в тесте и 0,6 % в растворе) позволяет понизить температуру замерзания смеси благодаря криоскопическому эффекту. По сравнению с бездобавочным цементом прочность активированных образцов повышается, особенно в 1-е и 7-е сут твердения на морозе. Вместе с тем при твердении в условиях отрицательных температур прочность образцов цементно-золяных композиций снижается при -10°C .

Причины изменения физико-механических характеристик вяжущих композиций и бетонов на



Прочность активированного известково-золяного камня
а — при $20 \pm 2^\circ\text{C}$; б — при $-10 \pm 2^\circ\text{C}$

Составляющие, % массы			V/T	$\rho_0, \text{кг}/\text{м}^3$	$R_{сж}, \text{МПа}$	$R_{сж}^{28}, \text{МПа}$
известь	зола-унос	добавка				
25	75,0	—	0,35	1470	12,7	4,6
25	73,5	1,5	0,28	1620	24,2	15,0
25	72,0	3,0	0,26	1680	28,3	13,7
15	85,0	—	0,37	1360	10,6	2,1
15	83,5	1,5	0,32	1510	22,1	12,1
15	82,0	3,0	0,30	1540	24,5	9,6

их основе в результате механохимической активации прослеживаются путем анализа фазового состава новообразований. Рентгенограммы исходных зол и активированных известково-золевых вяжущих в планетарной мельнице с черным шелоком показали, что в процессе гидромеханической обработки интенсивно идет реакция гидратации, причем степень ее значительно выше, чем при гидратации золы в насыщенном известковом растворе при обычных температурах. Зафиксировано образование гексагональных гидроалюминатов кальция (ГАК) C_4AH_{13} , обычно кристаллизующихся в нормальных условиях к 7 и 14 сут твердения. В золах, содержащих кальцит, отмечено присутствие гидрокрбоалюминатов кальция C_4ASH_{11} . Образование низкоосновных гидросиликатов кальция (ГСК) типа $CSH(1)$, ответственных за набор прочности камня, достоверно идентифицировано методами РФА и ДТА. Если в рентгенограммах возможно наложение основных типов $CSH(1)$ и $CaCO_3$ ($\alpha = 3,03 \text{ \AA}$), то экзотермический пик при $890^\circ C$ на дериватограммах однозначно свидетельствует о превращении ГСК типа $CSH(1)$ в псевдопластониан (даже в слабозакристаллизованном рентгеноаморфном виде). В известково-золевой композиции с золой Московской ТЭС-22 присутствуют моносульфатные формы гидросульфалюмината кальция C_4ASH_{12} уже при гидромеханической активации. Интенсивность пиков исходных минералов кварца и портландита $Ca(OH)_2$ уменьшается незначительно, что свидетельствует об их связывании в процессе активации.

На примере золы-уноса Петропавловской ТЭС показано влияние тонкого помола с пластификатором на фазовый состав известково-золевого камня в процессе дальнейшего твердения (после пропаривания). Изменение типа диспергирующего аппарата (планетарная мельница вместо шаровой) и ввод пластифицирующей добавки не приводят к появлению новых кристаллических фаз, но вызывают количественные изменения гидратных новообразований. В образцах,

прошедших гидромеханическую активацию, отмечено значительное увеличение ГСК типа $CSH(1)$ и уменьшение ГАК типа C_4AH_{13} . Перекристаллизация гексагональных ГАК C_4AH_{13} в стабильный ГАК C_3AH_6 не зафиксирована.

Дифференциально-термический анализ показал, что эндотермические эффекты при $120...1800^\circ C$ связаны с удалением межслоевой адсорбционной воды из ГСК типа $CSH(1)$, причем в присутствии лигносульфонатов появляется дополнительный эндозаэффект, свидетельствующий об адсорбции молекул пластификатора на поверхности стеклокристаллического кремнезема. Эндозаэффекты при $480...500^\circ C$ связаны с удалением химически связанной воды из гидроксида кальция, причем при механохимической активации этот эффект меньше, что свидетельствует о более полном связывании известии степени гидратации. Эндотермический пик при $870^\circ C$ связан с процессом декарбонизации карбоната кальция, присутствующего в исходной известии. Экзоэффект при $89...910^\circ C$ свидетельствует о присутствии слабозакристаллизованных низкоосновных ГСК типа $CSH(1)$.

Физико-химический анализ стеклокристаллических материалов, к которым относятся золевые композиции, проводили методом инфракрасной спектроскопии с использованием спектрофотометра UR-20 с автоматической регистрацией излучения. В качестве диспергентов использовали кВч (для области $300...1650 \text{ см}^{-1}$) и вазелиновое масло (область $3200...3800 \text{ см}^{-1}$). Это связано с тем, что интенсивное поглощение при $3400...3450 \text{ см}^{-1}$ связи $O-H$ воды, адсорбированной кВч (при неполном высушивании таблетки) резко снижает разрешение полос поглощения валентных колебаний гидроксильной группы $\gamma(OH)^-$, ассоциированных водородной связью в структуре изучаемых соединений. Полученные ИК-спектры гидратированных известково-золевых композиций подтверждают изменение структуры новообразований без появления новых фаз. Полоса погло-

щения при 1440 см^{-1} свидетельствует о присутствии карбоната кальция. Валентные колебания гидроксильной группы в $Ca(OH)_2$ представлены интенсивной полосой поглощения 3640 см^{-1} , уменьшающейся при активации (связывание известии в ГСК и ГАК).

Молекулярной воды практически нет в гидратированных образцах (отсутствуют полосы поглощения, относящиеся к деформационным колебаниям H_2O при $1600...1650 \text{ см}^{-1}$). Структура сходна со структурой аморфного SiO_2 ($400...500 \text{ см}^{-1}$). Полосы поглощения $1080...1100 \text{ см}^{-1}$ характерны для связей $Si-O-Si$ и $Si-O$ в ГСК. Широкая полоса поглощения $900...1250 \text{ см}^{-1}$ соответствует также колебаниям кремнекислородного тетраэдра с различной степенью конденсации. Полосы 780 и 795 см^{-1} характерны для кварца. Появление колебаний на ИК-спектре активированного известково-золевого камня в области 820 и $1250...1300 \text{ см}^{-1}$ можно связать с адсорбцией анионоактивных ПАВ, например, группы $-SO_2O^-$.

Выводы

Механохимическая активация позволяет получать известково-золевое бесцементное вяжущее с гидравлической активностью $24...28 \text{ МПа}$ при пропаривании и $13...15 \text{ МПа}$ при нормальном твердении, а также малоцементные цементно-золевые вяжущие композиции, которые в условиях гидромеханической обработки составляют обеспечивают прочность бетона на сжатие $78...84$ и на изгиб $8...10 \text{ МПа}$. Цементно-золевые вяжущие при отрицательных температурах набирают прочность в $1,5...2$ раза выше, чем обычные портландцементы ($R_{сж}^{28} = 33...42 \text{ МПа}$).

Комплексный физико-химический анализ активированных бесцементных вяжущих композиций свидетельствует о количественном перераспределении гидратных новообразований в сторону увеличения низкоосновных ГСК типа $CSH(1)$ и уменьшения ГАК при введении пластификатора. Новых гидратных фаз не обнаружено.

Определение сроков распалубливания и нагружения твердеющих монолитных конструкций

Изготовление долговечной и дорогостоящей опалубки имеет смысл только при высокой интенсивности ее использования. Однако часто строительные организации используют комплект такой опалубки от случая к случаю, замораживая капитальные вложения.

Существенно влияет на интенсивность использования опалубки и выдержка монолитных конструкций до распалубливания. Последнее производится после достижения бетоном прочности 1...1,5 МПа. Когда конструкция после снятия опалубки воспринимает нагрузку (например, плиты перекрытий), по СНиП 3.03.01—87 бетоном должна быть достигнута прочность 70...80 % проектной при фактической нагрузке менее 70 % нормативной. Если в момент распалубливания нагрузка более 70 % нормативной, то необходимо выдержать бетон до 100 % прочности. Учитывая, что бетон достигает 70 и 100 % проектной прочности соответственно на 14 и 28 сут твердения в нормальных условиях, резко замедляется оборачиваемость дорогостоящей опалубки.

Не все конструкции в момент распалубливания воспринимают нагрузку в 70...100 % эксплуатационной. Обычно в момент снятия опалубки на конструкцию воздействуют собственная масса и небольшая полезная нагрузка, поэтому нет необходимости выдерживать бетон 14...28 сут в опалубке. Кроме того, по СНиП 3.03.01—87 не учитывается вид напряженного состояния распалубливаемой конструкции (сжатие, изгиб и т. д.), а нормируется только прочность бетона. Сроки снятия опалубки должны определяться исполнителями работ. Но при отсутствии в строительных организациях подготовленных кадров и отдаленности строительных лабораторий от возводимых зданий нельзя реально контролировать рост прочности уложенного бетона, поэтому часто сроки распалубливания определяются интуитивно.

В других странах применяют иной подход. Строительные нормы бывш. ГДР TGL 3321/01 регламентируют не только прочность бетона в момент распалубливания, но и вид напряженного состояния в конструкции.

Прочность бетона в момент распалубливания

$$R_A = r_a R_{28},$$

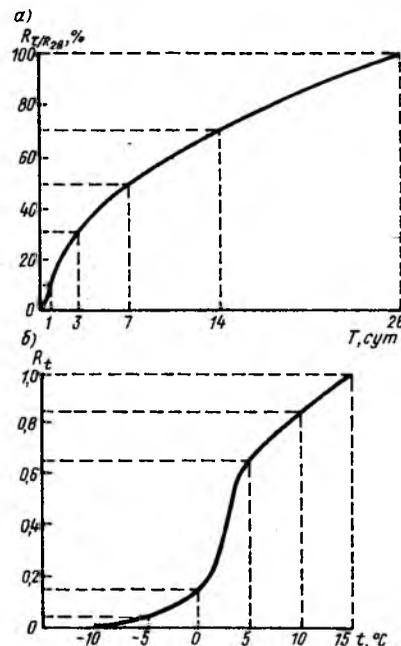
где $r_a = f\left(\frac{q_t}{q}\right)$ по табл. 1; q_t —

нагрузка на конструкцию в момент распалубливания; q — эксплуатационная нагрузка.

Сроки выдерживания бетона в опалубке до требуемой прочности в зависимости от температуры окружающей среды определяются по таблицам или графикам (см. рисунок), а температура окружающей среды учитывается поправочным коэффициентом K_t . Нормами TGL учитывается и марка применяемого цемента. Чем выше марка цемента, тем скорее бетон набирает прочность, что особенно заметно

при пониженных температурах (табл. 2).

Нормы бывш. ФРГ DIN 1045 регламентируют сроки выдерживания бетона несущих конструкций в зависимости от марки применяемого цемента и типа конструкции. Время распалубливания определяется по схожей с TGL 3321/01 методике, но в более упрощенном виде (табл. 3).



Кинетика твердения бетона в нормальных условиях
а — $t = 15^\circ\text{C}$; б — K_t по TGL 3321/01

Таблица 1

Конструкция	r_a по TGL 3321/01 при q_t/q , равном		
	1,00	0,75	0,50
Балки, ригели, плиты перекрытия пролетом, м:			
≥ 6	1,00	0,80	0,70
$> 4,5$	0,70	0,70	0,60
$\leq 4,5$	0,70	0,60	0,50
Стены, колонны	0,60	0,50	0,40

Таблица 2

Цемент	R_t/R_{28} , %, в возрасте бетона, сут, при t					
	20 °C			5 °C		
	3	7	28	3	7	28
Z2275	30	45	100	10	20	70
PZ375	45	55	100	20	35	80
PZ425, PZ475	55	70	100	40	50	85

Таблица 3

Цемент	Сроки распалубливания при $t \geq 5^\circ\text{C}$ по DIN 1045, сут		
	боковая опалубка балок, стен, колонн	опалубка плит перекрытия, балок	стойки балок, плит перекрытия
Z225	3	8	21
Z350	2	4	8
Z450	1	3	6

Минимальное время, в течение которого опалубка и опоры остаются на месте и поддерживают монолитные конструкции, регламентировано Американским институтом бетона (табл. 4).

В отличие от зданий из сборного железобетона, конструкции которых проектируются один раз на эксплуатационные нагрузки, монолитные конструкции следует проектировать на две стадии — возведение и эксплуатацию, так как в стадии возведения нагрузки меньше эксплуатационных и прочность не достигает проектного значения. При расчете сроков распалубки и нагружения бетона необходимо учитывать возрастание во времени прочности бетона. При этом нормативная нагрузка на твердеющий, но уже распалубленный бетон не должна превышать допускаемых напряжений в бетоне в лю-

Таблица 4

Конструкция	Время выдержки, сут
Стены*	0,5—1
Колонны*	0,5—1
Боковые стороны балок и ферм*	0,5—1
Кружала арки	14/7
Днище несущей фермы или балки** пролетом в свету между опорами, м:	
$l_s < 3,05$	7/4
$3,05 \leq l_s \leq 7,1$	14/7
$l_s > 7,1$	21/14
Плиты перекрытий** пролетом в свету, м:	
$l_s < 3,05$	4/3
$3,05 \leq l_s \leq 7,1$	7/4
$l_s > 7,1$	10/7

* Там, где такие элементы поддерживают опалубку днища плиты или балки, определяющим будет время снятия последней.

** Там, где балки могут быть сняты без удаления вертикальных опор, сроки сокращаются вдвое, но не меньше, чем до 3 сут.

Примечание. Перед чертой — при проектной нагрузке, меньше собственной массы, после черты — больше.

бой промежутков времени от распалубки до эксплуатации. Допускаемые напряжения не должны превышать 0,5...0,6 разрушающих, для исключения процесса микротрещинообразования, который снижает прочностные характеристики бетона в зрелом возрасте. Для определения несущей способности конструкций в стадии возведения необходимо дополнить СНиП по проектированию и производству работ, определив нормативные и расчетные значения прочности и деформативные качества бетона в возрасте 1...28 сут. Наиболее рационально учитывать особенности монолитного домостроения нормированием времени распалубки по примеру норм типа TGL, DIN, ACI. В наших условиях предпочтительно за основу взять нормы TGL 3321/01, как наиболее приемлемые.

В помощь проектировщику

УДК 693.54

Д. Ф. ПАНФИЛОВ, канд. техн. наук (Нижегородский архитектурно-строительный ин-т)

Расчет режимов термосного выдерживания немассивных блоков

Немассивными считаются блоки, температура которых в разных точках в любой момент времени мало различается между собой и, следовательно, с достаточной для практики точностью может быть принята равной средней температуре блока. Согласно критерию, приведенному в источнике [1], блок в форме параллелепипеда можно считать немассивным, если размер его меньшей стороны

$$b \leq \frac{\lambda}{2K}, \quad (1)$$

где λ — теплопроводность твердеющего бетона; K — коэффициент теплопередачи через тепловую изоляцию граней, нормальных к меньшей стороне.

Известно [1], что расчет термического и прочностного режимов немассивных блоков (конструк-

ций), выдерживаемых на морозе по методу термоса, сводится к последовательному решению уравнения теплового баланса блока для n интервалов времени продолжительностью Δt_i , в пределах каждого из которых температуру бетона принимают изменяющейся по линейному закону либо к численному решению выводимого из этого уравнения предельным переходом при $\Delta t_i \rightarrow 0$ дифференциального уравнения теплопроводности. Для удобства дальнейшего изложения, запишем эти уравнения в несколько отличном от приведенного в источнике [1] виде:

уравнение теплового баланса блока за время Δt_i

$$C(\theta_{б,н,i} - \theta_{б,к,i}) + \Pi \Delta \theta_i - MK_{np}(\theta_{б,с,i} - \theta_{н,в,i}) \Delta t_i = 0; \quad (2)$$

дифференциальное уравнение теплопроводности

$$-C \frac{d\theta_b}{dt} + \Pi \frac{d\theta}{dt} - MK_{np}(\theta_b - \theta_{н,в}) = 0, \quad (3)$$

где $C = c\rho$; $\Delta \theta_i = \theta_i - \theta_{i-1}$; $M = \frac{F}{V}$;

$$K_{np} = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^m K_i F_i; \quad \theta_b, \theta_{б,н,i}, \theta_{б,к,i} — \text{тем-}$$

пература бетона в момент времени t , в начале и в конце i -го интервала; $\theta_{б,с,i}$ — средняя за время Δt_i температура

бетона: $\theta_{б,с,i} = \frac{1}{2} (\theta_{б,н,i} + \theta_{б,к,i})$, $\theta_{н,в}$,

$\theta_{н,в,i}$ — температура наружного воздуха в момент времени t и средняя за время Δt_i температура воздуха; c — удельная массовая теплоемкость твердеющего бетона; ρ — плотность бетона; Σ , θ_i — суммарное тепловыделение 1 кг цемента к моменту времени t и к концу i -го интервала; Π — содержание цемента в 1 м³ бетона; F — общая площадь охлаждаемых поверхностей блока; V — объем блока; K_i — коэффициент теплопередачи через изоляцию грани блока площадью F_i .

Основная трудность расчета по уравнениям (2), (3) при наличии исходных данных связана с учетом зависящего как от температуры, так и от продолжительности твердения бетона тепловыделения цемента. В соответствии с источником

[1] тепловыделение цемента определяют по графику экзотермии при $\theta = 20^\circ\text{C}$, а продолжительность t_{20} твердения бетона вычисляют по фактической продолжительности t_θ твердения при температуре θ на основе гипотезы приведенного времени

$$t_{20} = \frac{t_\theta}{\alpha}, \quad (4)$$

где α — коэффициент относительной скорости процесса тепловыделения.

При пользовании графиками ограничена возможность расчетов на ЭВМ, кроме того, поскольку влияющая на экзотермию цемента температура твердения является искомой величиной, расчет по этому методу для каждого интервала времени приходится выполнять последовательными приближениями. В результате расчеты получаются громоздкими и трудоемкими. Поэтому авторы развили методику расчета параметров и режима термосного выдерживания бетона. При этом к уравнениям (2), (3) добавили вторые уравнения. Для этого использовали приведенную в источнике [1] эмпирическую зависимость относительного тепловыделения $r = \frac{\Delta}{\Delta_{28}}$ (или относительной прочности бетона $r = R/R_{28}$) от времени твердения бетона при $\theta = 20^\circ\text{C}$

$$r = 1 - 0,01 B e^{-\alpha_1 t_{20}}, \quad (5)$$

где Δ_{28} , R_{28} — тепловыделение цемента и прочность бетона через 28 сут твердения при $\theta = 20^\circ\text{C}$; B , α_1 — константы твердения бетона определенного состава [1]; t_{20} — продолжительность твердения при $\theta = 20^\circ\text{C}$.

Поскольку формула (5) не отображает кинетики нарастания прочности бетонов в первые сутки, провели дополнительный анализ экспериментального материала и установили, что в диапазоне $\theta \leq r \leq 0,7$ с достаточной точностью можно принять $B = 100$ для всех шести рассмотренных в табл. 37 [1] групп бетонов, а $\alpha_1 = 0,43; 0,33; 0,23; 0,16; 0,13$ и $0,1$ для I...VI групп. Затем, в результате анализа имеющихся экспериментальных данных (табл. 35 [1]) установили математическую зависимость α от θ

$$\alpha = \frac{A}{1 + B_1 \theta + B_2 \theta^2}, \quad (6)$$

где A , B_1 , B_2 — эмпирические коэффициенты, зависящие от вида цемента: для портландцемента $A = 3,12$; $B_1 = 0,08$; $B_2 = 0,0014$; для шлакопортландцемента $A = 15,15$; $B_1 = 0,3$; $B_2 = 0,02$.

В результате сформирована замкнутая система уравнений для

расчета изменений температуры и прочности бетона во времени. Методику расчета по этим уравнениям, как показал анализ, целесообразно выбирать дифференцированно, в зависимости от наличных исходных данных. При переменной температуре наружного воздуха приходится задавать начальную температуру бетона $\theta_{н.н}$ и интервалы времени Δt_i , отсчитывая последние от начального момента твердения $t = 0$. В этом случае $\theta_{б.н,i+1} = \theta_{б.н,i}$ ($\theta_{б.н,i} = 2\theta_{б.с,i} - \theta_{б.н,i}$), а приращение экзотермии, на основании формул (4)...(6)

$$\Delta \Delta_i = 0,1 B \Delta_{28} e^{-\alpha_1 t_{20i}} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta t_{20i}}), \quad (7)$$

где

$$\Delta t_{20i} = \frac{\Delta t_i}{A} (1 + B_1 \theta_{б.с,i} + B_2 \theta_{б.с,i}^2);$$

$$t_{20i} = \sum_{i=1}^i \Delta t_{20i}.$$

Подстановка выражений $\theta_{б.н,i}$ и $\Delta \Delta_i$ в зависимость (2) дает трансцендентное уравнение для определения средней за i -й интервал времени температуры бетона

$$2(1 - \Psi_i) - a_{2i} (\Psi_i - \frac{\theta_{н.в,i}}{\theta_{б.н,i}}) \Delta t_i + a_{3i} e^{-\alpha_1 t_{20i}} (1 - e^{-\alpha_1 \Delta t_{20i}}) = 0, \quad (8)$$

$$\text{где } a_2 = \frac{K_{пр} M}{C}; \quad a_3 = \frac{0,01 B \Delta_{28} \Pi}{C \theta_{б.н,i}};$$

$$\Psi_i = \frac{\theta_{б.с,i}}{\theta_{б.н,i}}.$$

Соответствующую времени t_{20i} ожидаемую прочность бетона находят по формуле (5). В дифференциальном уравнении (3)

$$\frac{d\theta}{dt} = \Delta_{28} \frac{dr}{dt}, \quad (9)$$

$$\text{где } \frac{dr}{dt} = 0,01 \frac{\alpha_1}{A} \{1 + B_1 \theta +$$

$$+ B_2 \theta^2 + t(B_1 + 2B_2 \theta) \frac{d\theta}{dt} \times e^{-\frac{\alpha_1}{A} (1 + B_1 \theta + B_2 \theta^2) t}$$

Разумеется, уравнениями (2), (3) и (8) можно пользоваться и при постоянной расчетной температуре наружного воздуха $\theta_{н.в}$. Однако, как показал анализ, уравнение (2) в этом случае удобнее решать, назначая интервалы времени Δt_i , а приращение относительной прочности бетона Δr_i . При таком подходе

$$\left. \begin{aligned} \Delta \Delta &= \Delta_{28} \Delta r_i; \\ \Delta t_i &= \frac{A \Delta t_{20i}}{1 + B_1 \theta_{б.с,i} + B_2 \theta_{б.с,i}^2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

а интервал времени Δt_{20i} находят с помощью выражения (5), после его логарифмирования

$$\Delta t_{20i} = \frac{1}{\alpha_1} \ln \frac{1 - r_{i-1}}{1 - r_i}, \quad (11)$$

где r_i — относительное тепловыделение за время $t_i = \sum_{i=1}^i \Delta t_i$ от начала твердения бетона до конца i -того интервала.

Подставив выражения $\Delta \Delta_i$ и Δt_i в уравнение (2), получим кубическое уравнение для определения средней за i -тый интервал времени температуры бетона

$$\Psi_i^3 + b_i \Psi_i^2 + c_i \Psi_i - d_i = 0, \quad (12)$$

$$\text{где } \Psi_i = \frac{\theta_{б.с,i}}{\theta_{б.н,i}}; \quad b_i =$$

$$= -1 - \frac{a_{3i}}{2} + \frac{B_1}{B_2 \theta_{б.н,i}};$$

$$c_i = \frac{1}{B_2 \theta_{б.н,i}^2} \left[1 + A \frac{a_{2i}}{2} - B_1 \theta_{б.н,i} \left(1 + \frac{a_{3i}}{2} \right) \right];$$

$$d_i = \frac{1}{B_2 \theta_{б.н,i}^2} \left[1 + \frac{a_{3i}}{2} + \frac{A a_{2i} \theta_{н.в}}{2 \theta_{б.н,i}} \right];$$

$$a_{2i} = 8,64 \cdot 10^4 \Delta t_{20i} K_{пр} \frac{M}{C};$$

$$a_{3i} = \frac{\Delta_{28} \Pi \Delta r_i}{C \theta_{б.н,i}}.$$

Уравнения (3), (8) и (12) позволяют рассчитать изменения во времени температуры и прочности бетона при известной начальной температуре $\theta_{б.н}$. Для установления же по этим уравнениям двух взаимосвязанных параметров выдерживания бетона до набора им к моменту охлаждения до допустимой конечной температуры $\theta_{б.к}$ необходимой (критической) прочности минимально необходимой начальной температуры $\theta_{б.н}$ и продолжительности выдерживания бетона в опалубке t_k расчет приходится выполнять последовательными приближениями.

При постоянной температуре наружного воздуха, как показал анализ, значительно проще определить эти параметры, если начать расчет по уравнению (2) с последнего, n -го интервала времени, приняв $\theta_{б.н,i} = \theta_{б.к}$, и вести его по убывающим номерам i , учитывая, что $\theta_{б.н,i-1} = \theta_{б.н,i}$ ($\theta_{б.н,i} = 2\theta_{б.с,i} - \theta_{б.н,i}$). Приращение прочности бетона следует назначать в этом случае с

$$\text{учетом условия } r_k = \sum_{i=1}^n \Delta r_i.$$

Как и в предыдущем случае известной начальной температуры, уравнение (2) приводится к виду (12), но здесь в нем

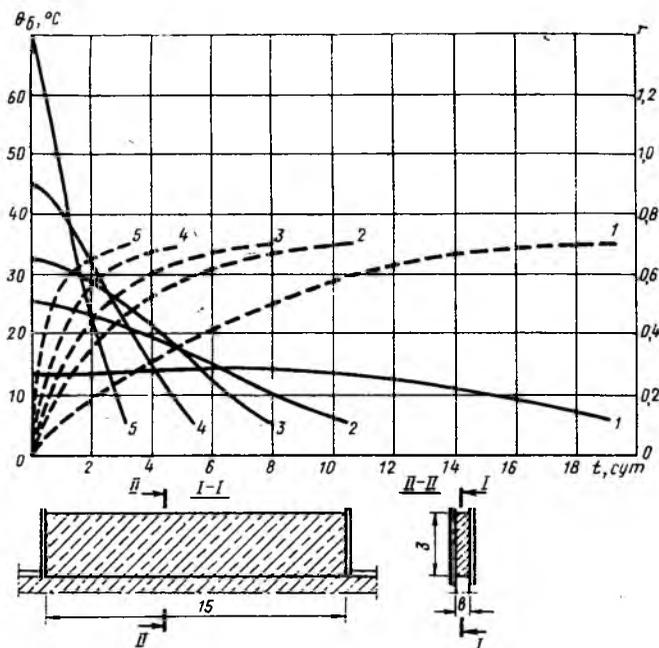


Рис. 1. Изменение во времени температуры (—) и относительной прочности (---) бетона
1 — $M=0,96$; 2 — $M=2$; 3 — $M=3$; 4 — $M=5$; 5 — $M=10$

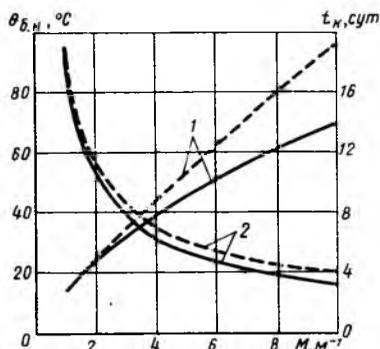


Рис. 2. Зависимость необходимой начальной температуры бетона (1) и продолжительности набора бетоном относительной прочности $r=0,7$ (2) от модуля поверхности блока
--- расчет по формуле Скрамтаева

$$\Psi_i = \frac{\theta_{6,ci}}{\theta_{6,ki}}; \quad b_i = -1 + \frac{a_{3i}}{2} + \frac{B_1}{B_2 \theta_{6,ki}};$$

$$c_i = \frac{1}{B_2 \theta_{6,ki}^2} \left[1 - A \frac{a_{2i}}{2} - B_1 \theta_{6,ki} \left(1 - \frac{a_{3i}}{2} \right) \right];$$

$$d_i = \frac{1}{B_2 \theta_{6,ki}^2} \left[1 - \frac{a_{3i}}{2} - A \frac{a_{2i} \theta_{6,ni}}{2 \theta_{6,ki}} \right];$$

$$a_{3i} = \frac{\varepsilon_{28} \Delta r_i}{C \theta_{6,ki}}$$

Продолжительность отдельных интервалов времени Δt_i устанавливаются так же, как и в случае известной начальной температуры, а продолжительность периода от момента достижения конечной температуры $\theta_{6,k}$ до начала i -го интервала

$$t_k - t_{i-1} = \sum_{i=n}^k \Delta t_i = \frac{A}{\alpha_1} \times$$

$$\times \sum_{i=n}^k \frac{\ln \frac{1-r_{i-1}}{1-r_i}}{1 + B_1 \theta_{6,ci} + B_2 \theta_{6,ci}^2} \quad (13)$$

причем при $i=1$ получается общая продолжительность t_k охлаждения бетона от начальной до конечной температуры.

блок шириной 1,3 м можно считать немассивным лишь приближенно, поскольку при $K=1,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ условие (1) дает размер $b \leq 1 \text{ м}$.

Для выяснения пригодности предложенной методики для приближенной оценки параметров выдерживания более массивных блоков, провели формальный расчет блока шириной 4 м с $M=0,96$. Как видно из рис. 2, точки, соответствующие этому блоку, располагаются на логичных продолжениях кривых $\theta_{6,n}=f(M)$ и $t_k=f(M)$, что объясняется, по всей вероятности, тем, что аккумуляция тепла экзотермии в ядре массивного блока в значительной степени компенсируется более интенсивным охлаждением зон, прилегающих к ребрам и углам блока, благодаря чему температура в центральной части длинных охлаждаемых граней близка к средней температуре блока в течение всего периода охлаждения. Такое предположение подтвердил расчет изменений температуры в центре боковой грани блока, выполненный с учетом теплоизолирующей способности бетона.

Расчеты по уравнению (12) при $n=10, 20$ и 40 дали практически одинаковые результаты, что позволяет заключить, что погрешность расчета становится существенной при достаточно больших интервалах Δt_i . В предельном случае $n=1$ $\Delta t_i=t$; $\Delta \varepsilon_i=\varepsilon$; $\theta_{6,ni}=\theta_{6,n}$; $\theta_{6,ki}=\theta_{6,k}$, и уравнение (2) превращается в известную формулу Скрамтаева с той лишь разницей, что в последней несколько иначе, с учетом модуля поверхности M , определяется средняя за период t температура бетона [2]

$$\theta_{6,c} = \theta_{6,k} + \frac{\theta_1}{1,03 + 0,181M + 0,006\theta_1} \quad (14)$$

где $\theta_1 = \theta_{6,n} - \theta_{6,k}$.

Как видно из рис. 2, расхождение как по необходимым начальным температурам, так и по продолжительности остывания до конечной температуры $\theta_{6,k}=5^\circ\text{C}$ увеличиваются с возрастанием M .

Для примера на рис. 1, 2 представлены результаты расчетов по предлагаемой методике температурного и прочностного режима блоков одинаковой длины (15 м) и высоты (3 м), но разной ширины (1,3; 0,8; 0,45 и 0,21 м) из бетона класса В20, приготовленного на шлакопортландцементе марки 400 с $\rho=250 \text{ кг}/\text{м}^3$ и характеризующегося константами: $C=2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; $\alpha_1=0,13$; $B=100$; $\varepsilon_{28}=2,72 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$. Начальную температуру бетона находили с расчетом, чтобы к моменту охлаждения до $\theta_{6,k}=5^\circ\text{C}$ он набрал относительную прочность $r_k=0,7$.

При этом учитывали, что блоки выдерживают при постоянной температуре $\theta_{6,n}=-20^\circ\text{C}$ в изоляции с $K=1,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ по всем граням, кроме нижнего основания, теплопотери через которое не учитывали. При такой схеме теплообмена блоки характеризуются модулями $M=2, 3, 5$ и 10 , причем

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса.— М.: Стройиздат, 1975.— 192 с.
2. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера.— М.: Стройиздат, 1982.— 213 с.

✓ДК 666.97.033.002

Н. А. ПИКУЛЕВ, д-р техн. наук, проф. (Казанский инженерно-строительный ин-т); А. Н. ПИКУЛЕВ, канд. техн. наук (Казанский авиационный ин-т)

Прибор ИНА-7М для технолога завода ЖБК

В настоящее время в строительстве успешно эксплуатируется прибор ИНА-7 (рис. 1) для контроля напряжения в арматуре по ГОСТ 22362 частотным методом.

Новый прибор ИНА-7М отличается измененной электрической схемой (рис. 2) и наличием дополнительного вибродатчика, позволяющего одновременно с напряжением контролировать амплитуду вибрации формовочного стола, поддона, площадки и т. п., применяемых для формирования железобетонных изделий. Отсчет показаний во всех случаях производится по шкале стрелочного указателя.

Прибор нечувствителен к электрическим помехам, а при измерении вибрации — к помехам, создаваемым раскачиванием виброплощадки на собственных амортизаторах и стуками в неплотных соединениях.

К прибору прилагается номограмма для перерасчета частоты колебаний арматурного стержня в на-

пряжение с учетом длины, диаметра и условий опирания на концах пролета. Новая номограмма более точна по сравнению с приведенной в справочном пособии «Контроль натяжения арматуры предварительно напряженных конструкций» (М.: Стройиздат, 1976) и может быть использована с любым серийным частотомером (ИПН-6, ИНА-3А, АП-12 и др.).

Согласно СНиП 2.03.01—84 введение контроля напряжения прибором ИНА-7М при электротермическом способе натяжения позволяет экономить до 8...10% арматуры класса А-IIIв, а контроль тем

же прибором вибрации при формировании способствует повышению качества изделий.

Прибор ИНА-7М выполнен на микроощных интегральных микросхемах и снабжен двумя датчиками: пьезокерамическим вибродатчиком ВД-1 и электроиндукционным частотным датчиком ДИП-01 натяжения арматуры.

При работе в режиме измерения амплитуды колебаний формовочного стола вибродатчик подключается к входу ВД. Сигнал ВД проходит через специальный формирователь амплитудно-частотной характеристики ФАЧХ, позволяющий устранить зависимость показаний прибора от низкочастотных колебаний вибростола на опорах, а также высокочастотных ударных ускорений. Далее синусоидальный сигнал усиливается предварительным усилителем ПУС, детектируется идеальным выпрямителем ИВМ и через переключатель 53-КА подается на микроамперметр, показания которого пропорциональны амплитуде основной гармоники колебаний вибростола.

При работе в режиме измерения натяжения арматуры датчик натяжения подключают к входу ДН и сигнал с него непосредственно подается на ИВМ. Усиленный и выпрямленный сигнал поступает на гистерезисный компаратор ГК, формирующий прямоугольные импульсы. Напряжение средней точки дает блок ФСЧ. Импульсы ГК дифференцируются схемой ДЦ и поступают на запуск прецизионного мультивибратора ПМВ, длительность импульсов которого зави-

Техническая характеристика прибора ИНА-7М

Диапазон напряжений, МПа	150...1500
Относительная погрешность по напряжению, %	±4
Диаметр арматуры по отношению к длине колеблющегося пролета, мм/м	до 10
Диапазон частот, Гц	5...200
Приведенная погрешность по частоте, %	±1,5
Диапазон измерительного сигнала, Гц	±5...200
Диапазон амплитуд смещения, мм	0...1
Приведенная погрешность по амплитуде, %	±3
Питание прибора от аккумулятора 7Д-0,125Д, ток потребления, мА	4
Габарит в футляре с датчиками, кг	75×100×65
Масса с датчиками, кг	0,7

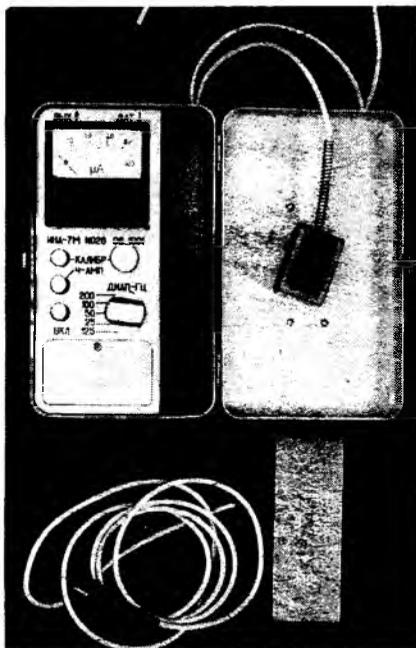


Рис. 1. Прибор ИНА-7М

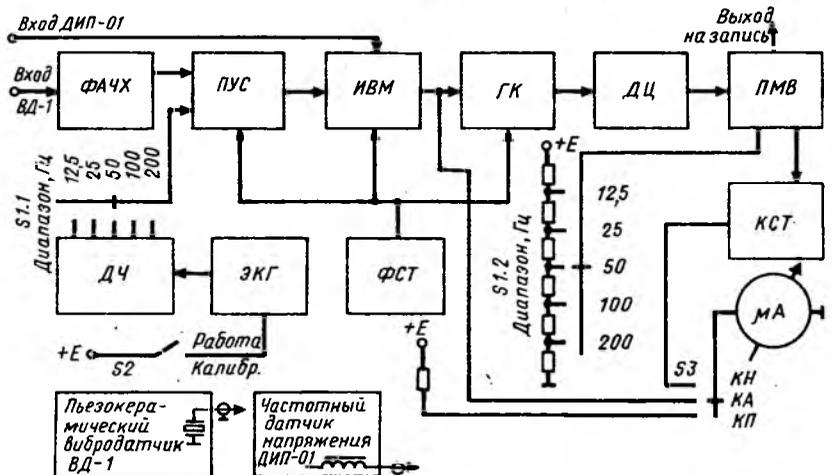


Рис. 2. Схема прибора ИНА-7М

сит от выбранного диапазона измерений. Эти импульсы запускают ключевой стабилизатор тока КСТ, выход которого через переключатель 53-КН связан с головкой индикации. Показания микроамперметра в этом случае пропорциональны постоянной составляющей импульсов тока КСТ, т. е. частоте колебаний натянутой арматуры. КСТ устраняет зависимость показаний прибора от напряжения питания.

При установке переключателя 53 в положение 53-КП микроамперметр показывает оставшееся напряжение на питающем аккумуляторе. Прибор калибруется от встроеного эталонного кварцевого генератора ЭКГ, импульсы с которого через делитель частоты Д4 и переключатель 51.1 при замкнутом 52 подаются вместо сигналов ЧДН на вход ПУС.

Приборы ИНА-7 и ИНА-7М имеют на выходе стрелочный микроамперметр. Некоторые потребители предпочитают вместо него цифровой индикатор. Однако большинство считает, что по стрелочному прибору отсчет брать удобнее, так как он фиксирует отсутствие или наличие помех. Кроме того, стрелочный индикатор дает уверенность в правильности показаний только тогда, когда его показания устойчивы. По поведению стрелки оператор видит, что колебания арматуры недостаточно велики или арматура чего-то касается. Цифровой же индикатор дает лишь окончательный результат измерений.

В отличие от других известных приборов ИНА-7 и ИНА-7М имеют настолько высокую чувствительность, что при измерении частоты колебаний арматуры не требуют

постоянного ударного возбуждения арматурного стержня. Обычно достаточно естественного вибрационного фона, чтобы датчик, положенный под арматурный стержень, стал устойчиво показывать собственную частоту этого стержня.

Что касается вибрации виброплощадки или поддона, то измерить ее ни одним из классических приборов (ни акселерометром, ни амплитудометром) пока невозможно. Приборы такого типа зашкаливают: первый — от наличия высокочастотных шумов от неплотностей соединения, а второй — от раскачивания виброустановки на собственных амортизаторах.

Как показал опыт, интересующую технолога вибрацию и распределение поля амплитуд на столе или площадке можно проконтролировать только прибором ИНА-7М.

Теория

УДК 691.327:539.37/.38

В. В. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук (Владимирский политехнический ин-т)

Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона

При учете неупругих свойств бетона и арматуры в расчете изгибаемых элементов принята гипотеза плоских сечений для средних деформаций бетона и арматуры аналогично источнику [1]. Отличие состоит в использовании полной диаграммы деформирования бетона, описываемой сплайн-функцией. Узлами интерполяции приняты характерные точки состояния бетона при сжатии $R_T^0, R_T^y, \bar{R}_b, \sigma_k$ и растяжении $R_T^0, \bar{R}_t, \sigma_k, \epsilon$.

При сжатии диаграмма описывается уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bc} &= E_b \epsilon \quad \text{при } 0 \leq \epsilon \leq \epsilon_T^0; \\ \sigma_{bc} &= E_b \epsilon + m_1 (\epsilon - \epsilon_T^0)^2 + \\ &+ m_2 (\epsilon - \epsilon_T^0)^3 \quad \text{при } \epsilon_T^0 \leq \epsilon \leq \epsilon_T^y; \\ \sigma_{bc} &= \bar{R}_b + m_3 (\epsilon_R - \epsilon)^2 + \\ &+ m_4 (\epsilon_R - \epsilon)^3 \quad \text{при } \epsilon^y \leq \epsilon \leq \epsilon_R; \\ \sigma_{bc} &= R_b + m_5 (\epsilon - \epsilon_R)^2 \\ &\text{при } \epsilon_R \leq \epsilon \leq \epsilon_k. \end{aligned} \right\} (1)$$

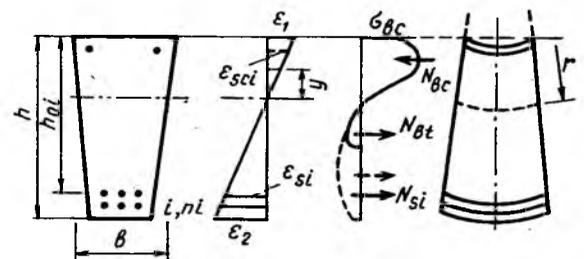
где m_i — коэффициенты сплайна, определяемые из условия его прохождения через выбранные точки интерполяции, непрерывности первой и второй производных при граничных условиях [2]; R_T^0, R_T^y — первая и вторая параметрические точки; \bar{R}_b — среднестатистическое значение призменной прочности; σ_k — напряжение нисходящей ветви, соответствующее предельным деформациям.

Диаграмма $\sigma_T - \epsilon_k$ бетона при растяжении (см. рисунок) описывается аналогично, но принято три участка. Численные значения R_T^0, R_T^y, \bar{R}_b и соответствующие деформации $\epsilon_T^0, \epsilon^y, \epsilon_R, \epsilon_k$, получен-

ные в результате обработки литературных данных, можно найти по эмпирическим формулам [2]. ϵ_k и σ_k зависят от скорости деформирования. Для расчета прочности конечную точку диаграммы бетона предварительно приняли по рекомендациям ФИП-ЕКБ $\sigma_k = 0,8 \bar{R}_b$. В случае градиента напряжений характер диаграммы сохраняется [1, 3]. Предложение проиллюстрируем на примере изгибаемого элемента симметричного сечения. Усилия в бетоне сжатой и растянутой зон, арматуре записывают в общем виде. В предельном состоянии работу растянутого бетона над трещиной можно не учитывать, при этом значения крайних деформаций примут соответствующие значения.

Усилие в сжатой зоне

$$N_{bc} = \left[\frac{h}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \int_0^{\epsilon_1} \varphi_1(\epsilon) b \frac{\epsilon}{\epsilon_1 - \epsilon_2} d\epsilon \right] d\epsilon. \quad (2)$$



Расчетная схема сечения

Момент усилия N_{bc} относительно нейтральной оси

$$M_{bc} = \frac{h}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)^2} \int_{\epsilon_1}^0 \varphi_{bc}(\epsilon) b \frac{\epsilon}{\epsilon_1 - \epsilon_2} d\epsilon. \quad (3)$$

Усилие, воспринимаемое растянутым бетоном, в общем случае

$$N_{bt} = \frac{h}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \int_0^{\epsilon_2} \varphi_{bt}(\epsilon) b \frac{\epsilon}{\epsilon_1 - \epsilon_2} d\epsilon. \quad (4)$$

Момент усилия N_{bt} относительно той же оси

$$M_{bt} = \frac{h^2}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)^2} \int_0^{\epsilon_2} \varphi_{bt}(\epsilon) b \frac{\epsilon}{\epsilon_1 + \epsilon_2} d\epsilon, \quad (5)$$

где ϵ_1, ϵ_2 — средние деформации крайних сжатого и растянутого волокон в предельном состоянии: $\epsilon_1 = \epsilon_k$; $\epsilon = y/r$; r — радиус кривизны, b — ширина сечения как функция высоты: $b = f(h)$.

При наличии сжатой арматуры ϵ'_s определяют из условия совместности деформаций $\epsilon_{bc} = \epsilon'_s$ и $\epsilon'_s = \epsilon_k(x - a')/x$. Для описания диаграммы $\sigma_s - \epsilon_s$ арматуры также строят сплайн, но расчет при этом усложняется.

В общем случае усилие в растянутой арматуре N_s и момент этого усилия относительно нейтральной оси:

$$\left. \begin{aligned} N_s &= \sum_{i=1}^m \varphi_s(\epsilon_{si}) f_{si} n_{si}; \\ M_s &= \frac{h}{\epsilon_k + \epsilon_2} \int_{i=1}^m \epsilon_{si} \varphi_s \times \\ &\times (\epsilon_{si}) f_{si} n_{si} d\epsilon_{si} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Универсальный цифровой прибор для контроля силы натяжения арматуры

ПИН-10 является самым универсальным из существующих приборов данного типа. Он работает по методу поперечной оттяжки (ГОСТ 22362—77), поэтому при проведении измерений касание контролируемой арматуры сеток, каркасов, закладных деталей или элементов форм помехой не является. Прибор ПИН-10 позволяет контролировать силу натяжения линейной арматуры железобетонных конструкций практически всей выпускаемой номенклатуры.

Метрологическое и сервисное обслуживание приборов осуществляется в НИИЖБ.

Наш адрес: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, тел. 174-85-48 174-82-92

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Шифр балок	R_{bt} , МПа	μ , %	$\sigma_{0,2}$, МПа	M^{exp} , кН·м	$M^{СНП}$, кН·м	M^h , кН·м	$\frac{M - M^{exp}}{M} \cdot 100$ %
БПО-1	27,0	1,21	1248	80,05	82,1	78,5	1,95
БПО-2	27,5	1,84	1310	88,50	85,2	86,8	2,01
БПО-3	32,0	1,21	862	74,80	74,4	73,2	2,20
БПП-4	25,4	1,89	872	86,10	84,6	85,1	1,20

где f_{si} — площадь сечения стержня в i -м ряду; n_{si} — число стержней в i -м ряду.

При арматуре, имеющей физический предел текучести, целесообразно принимать $\sigma_s = \sigma_T$. В случае высокопрочной ненапряженной арматуры уровни относительных деформаций, соответствующие $\sigma_{0,02}$ и $\sigma_{0,2}$, определяют по формулам [3], а для преднапряженной арматуры — по теории [4], используя результаты источника [5].

Предельный момент, воспринимаемый сечением

$$M = M_{bc} + M_{bt} + M_s + M'_s. \quad (7)$$

Используя данные источника [3], предлагаемые зависимости сопоставили с результатами испытаний балок в МИСИ (см. таблицу). Реализация предложения заключается в последовательном поиске положения нейтральной оси (высоты сжатой зоны), соответствующего условию равновесия (внешний и внутренний итерационный цикл),

$$\left. \begin{aligned} y &= f(x) = (N_s - N_b) \leq \Delta_1; \\ z &= \varphi(x) = (M_{bn} - M) \leq \Delta_3, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ — заданные величины точности определения усилий; Δx — наименьшее значение шага изменения X , причем $|\Delta X| \leq \Delta_2$.

Выводы

Предлагаемый способ позволяет учесть неупругие свойства различных бетонов, допускает обобщение для более общего случая и расчет на всех стадиях загрузки. Влияние нисходящей ветви диаграммы сжатого бетона возрастает с увеличением относительной высоты сжатой зоны балок, внецентренно сжатых элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Гуща Ю. П., Лемьш Л. Л. Расчет деформаций конструкций на всех стадиях при кратковременном и длительном нагружении // Бетон и железобетон.— 1985.— № 11.— С. 13—16.
- Некоторые предложения по описанию диаграммы деформаций бетона при нагружении / В. В. Михайлов, М. П. Емельянов, Л. С. Дудолодов, В. М. Митасов // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура.— 1983.— № 2.— С. 23—27.
- Байков В. Н., Сапрыкин В. Ф. Неудача способностей изгибаемых элементов с большим содержанием высокопрочной арматуры при учете неупругих свойств бетона и арматуры // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура.— 1981.— № 7.— С. 20—26.
- Мадагян С. А. Учет эффектов преднапряжения арматуры при расчете прочности изгибаемых элементов // Бетон и железобетон.— 1978.— № 9.— С. 13—17.
- Митасов В. М., Михайлов В. В., Федоров Д. А. Расчет преднапряжений изгибаемых элементов с учетом упругости арматуры // Бетон и железобетон.— 1982.— № 11.— С. 15—16.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРА

Диапазон диаметров контролируемой арматуры, мм	3...22
База прибора (два варианта), мм	600 и 800
Время одного измерения (не более), с	20
Погрешность измерения (не более), %	4

Питание — малогабаритные дисковые аккумуляторы Д-0,26 или Д-0,55

(зарядное устройство прилагается)
Габарит (в сложенном виде), мм 400×200×45
Масса, кг 2,5

В. Е. КРУШЕДОЛЬСКАЯ, В. Я. ФЛАКС, кандидаты техн. наук,
В. Л. ЧЕРНЯВСКИЙ, д-р техн. наук (Харьковский
ПромстройНИИпроект)

Коррозионное поведение арматуры в бетонах на шлакопортландцементе

Общепризнано, что бетоны на шлакопортландцементе (ШПЦ) независимо от состава шлака (кислый, основной) и его содержания (20...80 % массы цемента), а также условий твердения (нормальные, термообработка) обладают первоначальным пассивирующим действием по отношению к стальной арматуре [1]. Однако их длительные защитные свойства в эксплуатационных агрессивных средах изучены недостаточно. Это относится, в частности, к периодическому воздействию сульфатных растворов и нагрева, которому подвергаются многие строительные конструкции объектов металлургического производства [2]. Исследовали изменения во времени электрохимического и коррозионного поведения стальной арматуры в бетонах на ШПЦ в агрессивных средах в лабораторных условиях. В сравниваемых бетонах использовали два вида ШПЦ на основных доменных гранулированных шлаках: Амвросиевский марки 300, 60 % шлака (АШПЦ) и Балаклейский марки 400, 50 % шлака (БШПЦ), а в качестве эталона — Амвросиевский сульфатостойкий портландцемент марки 400 (ССПЦ).

Исследуемые образцы представляли собой бетонные призмы размером 40×40×160 мм с расположенными внутри гладкими стержнями из стали марки Ст. 3 диаметром 4 и длиной 120 мм. Толщина защитного слоя бетона в образцах составляла 18...20 мм.

Коррозионные испытания проводили циклами по шести режимам. Один цикл (48 ч) включал увлажнение водопроводной водой (200 мг/л сульфат-иона) в течение 24 ч и последующий в течение 24 ч нагрев при 40, 60, 90 °С (режимы IA, IIA, IIIA) или тот же цикл при увлажнении 5 %-ным раствором сульфата натрия и на-

греве при тех же температурах (режимы IB, IIB, IIIB). Во всех режимах испытывали бетоны на ССПЦ и АШПЦ нормального твердения, класса В15 и водонепроницаемостью W4. Дополнительно в режиме IB испытывали также пропаренные бетоны аналогичного состава (режим пропаривания 2+ +6+8 ч при температуре изотермии 80 °С). В режимах IIIA и IIIB испытывали бетоны на БШПЦ нормального твердения классов В15 и В30, водонепроницаемостью соответственно W4 и W8.

После каждых 45 циклов отбирали по три образца, определяли

в рассматриваемых растворах (при нормальной температуре) электродные потенциалы ϕ и снимали анодные поляризационные потенциодинамические кривые стали в бетоне известными методами [3]. Затем стержни извлекали из бетона и по размерам площади и глубины коррозии оценивали их состояние. Появлению продуктов коррозии стали отвечала, как правило, плотность анодного тока при потенциале $\phi = +0,3$ В по НХСЭ $i_{0,3} \geq 25$ мкА/см², что согласуется с данными [4], поэтому предельное число циклов N_n , при котором арматура сохраняла пассивность, определяли путем интерполяции по экспериментальным зависимостям $i_{0,3} - N$.

Исходные электрохимические характеристики арматуры (табл. 1) при некоторых различиях, зависящих от вида цемента, условий твердения бетона, а также состава электролита, свидетельствуют о пассивном состоянии стали. Значения N_n (рис. 1, табл. 2)

Таблица 1

Вид цемента	Марки бетона по водонепроницаемости	Водопроводная вода		5 %-ный раствор Na ₂ SO ₄	
		— ϕ , мВ	$i_{0,3}$, мкА/см ²	— ϕ , мВ	$i_{0,3}$, мкА/см ²
ССПЦ	W4	190	3,0	240	5,0
АШПЦ	W4	230	4,5	420	6,5
БШПЦ	W4	200	4,8	400	6,3
БШПЦ	W8	110	3,0	190	4,8
ССПЦ*	W4	295	4,5	390	6,0
АШПЦ*	W4	350	3,0	480	7,3

* Бетоны, прошедшие термообработку, в остальных случаях — бетоны нормального твердения.

Таблица 2

Режим испытаний	Вид цемента	Марка бетона по водонепроницаемости	Число циклов**	Максимальные размеры коррозии		Скорость коррозии, мкм/цикл
				площадь, %	глубина, мм	
IA	ССПЦ	W4	220/50	50	0,01	0,2
IA	АШПЦ	W4	210/60	60	0,01	1,16
IIA	ССПЦ	W4	195/30	80	0,18	6,0
IIA	АШПЦ	W4	185/40	85	0,20	5,0
IIA	БШПЦ	W4	200/25	80	0,18	7,2
IIIA	БШПЦ	W8	410/35	60	0,15	4,3
IB	ССПЦ	W4	140/40	60	0,05	1,2
IB	ССПЦ*	W4	130/50	60	0,06	1,2
IB	АШПЦ	W4	135/45	65	0,05	1,1
IB	АШПЦ*	W4	125/55	55	0,05	0,9
IIB	ССПЦ	W4	125/13	45	0,04	3,5
IIB	АШПЦ	W4	118/10	60	0,05	2,5
IIIB	ССПЦ	W4	62/28	100	0,43	15,3
IIIB	АШПЦ	W4	58/32	100	0,45	14,0
IIIB	БШПЦ	W4	65/28	100	0,45	15,0
IIIB	БШПЦ	W8	150/38	55	0,33	8,7

* Бетоны, прошедшие термообработку, в остальных случаях — бетоны нормального твердения.

** Перед чертой — пассивное состояние арматуры, после черты — активное.

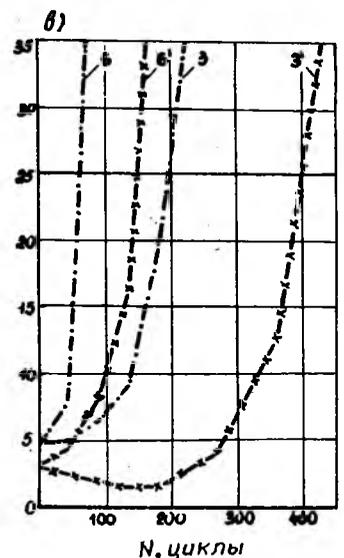
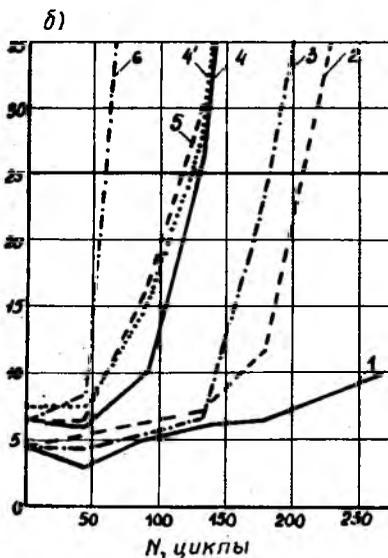
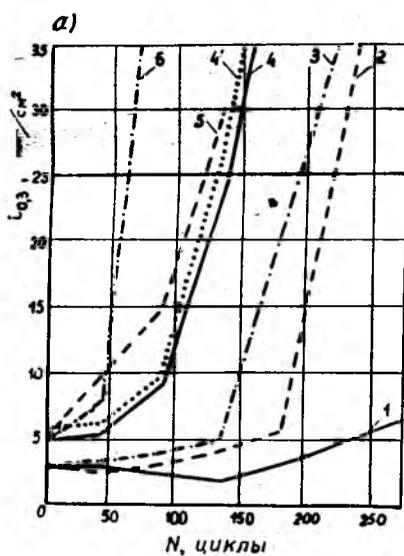


Рис. 1. Кинетика роста плотности тока $i_{0.2}$ стали в бетонах на ССПЦ (а), АШПЦ (б) и БШПЦ (в) нормального твердения (1...6, 3', 6') и пропаренных (4') марки во водонепроницаемости W4 (1...6, 4') и W8 (3', 6') при коррозионных испытаниях по режимам: 1 — IA; 2 — IIА; 3, 3' — IIIА; 4, 4' — IB; 5 — IIБ; 6, 6' — IIIБ

для бетонов на ШПЦ и ССПЦ при прочих равных условиях отличаются незначительно (до 5%). При этом у пропаренных бетонов N_p несколько ниже (до 7%), чем у бетонов нормального твердения, независимо от вида цемента. Рост плотности бетона с W4 до W8 повышает значение N_p в 2...2,5 раза.

Депассивация арматуры не всегда сопровождалась понижением (на 0,1...0,2 В) исходного электродного потенциала, что может быть связано с различием в соотношениях скорости протекания анодных и катодных реакций, влияющих на электродный потенциал, по которому нельзя однозначно судить о коррозионном состоянии арматуры.

Результаты визуально-инструментальной оценки показали, что скорость коррозии арматуры в закритической области (после депассивации) у бетонов на ШПЦ и ССПЦ при прочих равных условиях достаточно близка (см. табл. 2). Подтверждена также и более низкая скорость коррозии арматуры в бетонах более высокой марки по водонепроницаемости.

При воздействии сульфатных растворов и нагрева установлена нелинейная зависимость между температурой нагрева и защитными свойствами исследуемых бетонов по отношению к стальной арматуре (рис. 2). При низком содержании сульфатов (водопроводная вода) наиболее интенсивно

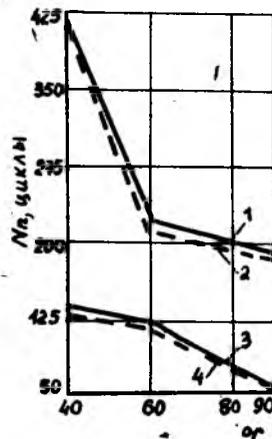


Рис. 2. Зависимость длительности пассивации арматуры в бетонах нормального твердения от температуры циклического нагрева при увлажнении водопроводной водой (1, 2) или 5%-ным раствором Na_2SO_4 (3, 4)
— бетоны на ССПЦ; — — — то же на АШПЦ

но снижаются защитные свойства при 40...60 °С, а при высоком содержании (5%-ный раствор Na_2SO_4) при 60...90 °С.

Близость коррозионного поведения арматуры в бетонах на ШПЦ и ССПЦ в агрессивных средах объясняется, в частности, меньшей интенсивностью снижения исходных значений рН жидкой фазы бетонов на ШПЦ по сравнению с бетонами на ССПЦ. Этим выравниваются имеющиеся различия в исходных значениях рН жидкой фазы таких бетонов.

Вывод

Бетоны на шлакопортландцементе в исследованных агрессивных средах обладают практически такими же длительными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре, как и бетоны на сульфатостойком портландцементе. Учитывая установленную ранее [5] высокую коррозионную стойкость бетонов на ШПЦ, можно рекомендовать использование этих вяжущих вместо дефицитного сульфатостойкого портландцемента для железобетонных конструкций, эксплуатируемых в рассмотренных агрессивных средах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев С. Н., Чернышев Ю. П. Защита арматуры от коррозии в бетонах на шлаковых и зольных материалах // Бетон и железобетон.— 1978.— № 8.— С. 10.
2. Заславский И. Н., Флакс В. Я., Чернявский В. Л. Долговечность зданий и сооружений предприятий черной металлургии.— М.: Стройиздат, 1979.— 72 с.
3. Методические рекомендации по исследованию ингибиторов коррозии арматуры в бетоне.— М.: НИИЖБ, 1980.— 37 с.
4. Алексеев С. Н., Розенталь Н. К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде.— М.: Стройиздат, 1976.— 205 с.
5. О коррозионной стойкости бетона на шлакопортландцементе при периодическом действии агрессивных сред / В. Е. Крушедольская, З. П. Митрофанова, В. Л. Чернявский и др. // Изв. вузов. Стр.-во и архитек.— 1981.— № 3.— С. 81—84.

Заводское производство преднапряженных изделий

Стендовое производство является основным методом изготовления массовых преднапряженных элементов в подавляющем большинстве стран. Производительность таких заводов невелика, однако все технологические процессы хорошо отработаны и постоянно совершенствуются. Полный цикл одного стенда, как правило, укладывается в 1 сут. На стендах длиной до 250 м изготавливают многопустотные плиты со скоростью до 4 м/мин; по высоте в пакете можно бетонировать пять плит шириной 2,4, высотой 0,42 с максимальным пролетом до 21 м. Финская фирма «Партек» производит на стендах трехслойные панели длиной до 12 м, состоящие из несущего слоя толщиной 150 мм, утеплителя из полистирола и защитного наружного слоя из преднапряженного железобетона толщиной 25...30 мм. Все слои соединяют клеем без каких-либо связей. С помощью автоматизированной пилы этой фирмы можно распилить плиты под углом 0...90°. Точный угол устанавливается оператором с помощью цифрового индикатора; уровень шума при работе пилы составил 80...85 дБ. Наружные стеновые панели изготавливают и на стендах фирмы «Спанкрит» (США), но наружный и внутренний слои бетона соединяются слоем утеплителя на гибких связях.

Американская фирма «Кивест» с четырех стендов длиной 240 м каждый при производственном цикле 8,5 ч, включая пропаривание, снимает ежедневно до 200 свай восьмигранного сечения 25, 30 и 35 см длиной до 30 м. Все четыре стенда обслуживают 24 чел. Выработка одного рабочего достигает 800 м³ в год.

Исключением является крупный комбинат американской корпора-

ции «San-Vel», который включает в себя два автоматизированных завода товарного бетона, восемь стендов размером 1,5×180 м для производства 600 тыс. м² многопустотных плит в год, стенд размером 2,4×105 м для производства стеновых панелей типа «сэндвич», линию длиной 300 м, оснащенную поворотными столами для производства стеновых панелей, четыре стенда для производства 2240 шпал в день (каждый длиной на 70 и шириной на 8 шпал). Кроме того, комбинат изготавливает по заказам блоки мостовых пролетных конструкций, колонны, сваи и другие элементы. В качестве напрягаемой арматуры, в основном, применяют семипроволочные канаты, в том числе для армирования железнодорожных шпал, объем производства которых планируется увеличить.

Заслуживают внимания разработанные в США фирмой Ro-Con-Inc новое конструктивное решение и высокомеханизированная технология производства опор круглого сечения с направленным дисперсным армированием. Для повышения несущей способности предложено армировать опоры направленными вдоль конструкции отрезками высокопрочной проволоки диаметром 1,2 мм и длиной 460...560 мм; степень насыщения арматуры можно менять на различных участках конструкции от 1 до 2 %. На опоры длиной 12 м, диаметром 200 и толщиной стенки 40 мм расходуется 40 кг стальной проволоки.

Опоры изготавливают центрифугированием на установке, в которой прямо из мотков вытягивают проволоку, нарезают ее на отрезки заданной длины и вводят непосредственно в форму на заранее уложенный первый слой бетона. За минуту нарезают и укладывают 8000 отрезков, которые сразу же покрывают следующим слоем бетона. Эта операция повторяется до

получения заданной по толщине и армированию стенки опоры. Число проволок, объем подачи бетона, скорость вращения формы, движения конвейера и резки проволоки являются параметрами технологического процесса, которые можно изменять на установке. Такие опоры по стоимости соответствуют опорам из дерева при несущей способности в 2...3 раза большей. Проведенные эксперименты показывают возможность применения такого конструктивного решения и для свай.

В Англии на нескольких заводах выполнены пионерные работы по автоматизации натяжения арматуры при стендовой технологии многопустотных настилов с применением микропроцессора, управляющего системой гидродомкратов и фиксирующих устройств.

В США более десяти фирм специализируется на возведении полностью сборных круглых преднапряженных резервуаров для хранения воды, нефти и других продуктов. Стенка выполняется из сборных плит размером на высоту резервуара, кольцевая арматура из высокопрочной проволоки или канатов раскладывается и напрягается специальными машинами или гидродомкратами. Арматура защищается слоем торкрета. Комитетом ПСИ (PCI) разработаны подробные рекомендации по проектированию и возведению таких резервуаров.

Представляет интерес высокомеханизированное стендовое производство преднапряженных шпал в Канаде на заводе фирмы «Генстар Костейн Тай Ко» в Эдмонтоне. В двухпролетном производственном корпусе размещено пять стендов длиной по 135 м, на которых изготавливают 1620 шпал в день при двухсменной работе. Годовая производительность завода 550 тыс. шпал, производственная площадь 5000 м², общее число рабочих 75, служащих 16; таким образом, годовая производительность одного рабочего составляет 7330 шпал.

Шпалы изготавливают длиной 2350 мм из бетона класса В30 и армируют высокопрочной проволокой периодического профиля 26Ø5 мм. По экономическим соображениям применяют проволоку, не подвергнутую низкотемператур-

ному отпуску с временным сопротивлением 1575 МПа. В сечении шпалы проволоку располагают попарно.

Стенды на заводе работают в суточном цикле, обеспечивая получение требуемой передаточной прочности бетона 25 МПа за счет применения быстротвердеющего портландцемента с тонкостью помола 5300 см²/г, который поставляют с рядом расположенного цементного завода той же фирмы, и повышение класса бетона на 30 %. В/Ц бетонной смеси составляет 0,36 при расходе цемента 400 кг/м³. В качестве заполнителей применяют песок с $M_{\kappa} = 2,65$ и щебень двух фракций 5...20 мм. В состав бетонной смеси вводят суперпластификатор и воздухововлекающую добавку для обеспечения надежной морозостойкости.

На всех пяти стендах размещено 270 шестигнездных сварных неразъемных форм из стального листа, в которых шпалы изготавливают в перевернутом положении.

Арматурные струны закрепляют в индивидуальных цанговых зажимах, протаскивают вдоль стенда пучками с помощью самоходного раскладчика. Предусмотрено натяжение интенсивностью $0,75\sigma_b$ и отпуск арматуры в каждой линии шпал с общего пульта управления. Контроль натяжения осуществляли только силовыми мес-

сдозами, расположенными под опорными гайками фиксирующих винтов. При обрыве отдельных струн во время натяжения их сращивают муфтами и подтягивают. Длина зоны передачи преднапряжения на бетон составляет 250...300 мм.

Бетонную смесь подают к стендам в бадьях, укладывают в формы и уплотняют на всю ширину стенда самоходной машиной, оборудованной шестью высокочастотными вибраторами с гидравлическим приводом; частота колебаний 8000 в минуту, амплитуда 1,5 мм. Шум от вибраторов небольшой, поэтому рабочие наушников не применяют. Тепловую обработку шпал осуществляют путем масляного прогрева стенда до 70 °С в течение 12 ч по режиму: предварительная выдержка 3 ч + подъем температуры 3 ч + изотермическая выдержка 3 ч + снижение температуры до 55 °С и передача натяжения на бетон 3 ч.

Между формами проволоку перерезают приводной пилой, а затем каждую краном снимают со стенда и переворачивают над железнодорожной платформой, в результате чего все шесть готовых шпал оказываются лежащими на платформе в рабочем положении. Освободившуюся форму отправляют на чистку. Интересно отметить, что передаточную прочность бетона шпал определяют испытанием кубов с ребром 100 мм и коэффициентом

перехода к нормальным кубам 0,8, а проектную марку определяют по цилиндрам, изготавливаемым в пластмассовых формах. На заводе систематически проверяют трещиностойкость шпал и проводят отбраковку. Закладные детали для крепления рельс выполняют из листовой стали и поставляют с другого предприятия; на одну шпалу затрачивают четыре закладные детали общей массой 3 кг. Их крепят к форме в проектом положении с помощью выдвигных штанг.

Продукция завода используется на внутреннем рынке и в США.

Завод освоил изготовление шпал для канадских железнодорожных мостов, выполняемых, как правило, без верхней плиты; такие шпалы имеют усиленное поперечное сечение размером 300×300 мм и армирование 32Ø5 мм.

Существует тенденция к упрощению арматурных работ при производстве шпал за счет замены проволоки семипроволочными канатами. Так, в США и Англии шпалы армируют стабилизированными канатами диаметром 9 мм. В Англии фирма «Доу-Мак Конкрит» перешла к электропрогреву бетона шпал на длинных стендах, передавая ток низкого напряжения через формы на арматуру. По утверждению фирмы, при этом удалось снизить энергозатраты на тепловую обработку. По такой технологии работают два завода в Англии и один в Ираке.

Информация

2-я Сибирская конференция по железобетону

В мае 1992 г. в Новосибирске состоялась 2-я Сибирская конференция по железобетону, организованная Сибирским филиалом Национального комитета ФИП и Новосибирским правлением стройиндустрии. В ней приняли участие ученые и специалисты не только Сибири, но и Челябинска и Казани.

Большая часть докладов была посвящена совершенствованию и исследованию сборных железобе-

тонных конструкций, в частности, экономических балок и плит покрытия (НИСИ совместно с ЭКБ, Новосибирск), конструктивных решений бескаркасных зданий и колонн с контактным стыком для многоэтажных зданий (СибАДИ, Омск). Эти работы внедрены в производство с большим экономическим эффектом.

Интересные результаты были доложены по материалам эксперимен-

тально-теоретических исследований. Из них следует выделить работы НИСИ и СибАДИ, выполненные независимо друг от друга, по уточнению математических моделей диаграмм арматурных стальных стыков сборных элементов при температурных воздействиях (НИСИ), анализ влияния поперечного армирования на работу сжатого бетона (НИСИ), предложения по совершенствованию методики расчета прочности и трещиностойкости железобетона и учету критериев поврежденности для оценки физико-механических свойств бето-

на в конструкциях (КИСИ, Казань), а также исследования по уточнению параметров сцепления арматуры с бетоном (НИИЖТ, Новосибирск).

Большое внимание в докладах ученых НИИЖТа и СибАДИ было уделено использованию ЭВМ при проектировании и обследовании железобетонных конструкций. В отдельных сообщениях были рассмотрены получение высокопрочного мелкозернистого бетона, назначение нормируемой отпускной прочности бетона изделий, обследование эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Оживленная дискуссия на конференции развернулась по поводу норм проектирования железобетонных конструкций. Большинство выступивших, в том числе и инженеры-практики, отметили чрезмерную усложненность действующих норм, перегруженность их эмпирическими коэффициентами и формулами, затуманенность физического смысла расчетов, трудность их восприятия в практической работе. Участники конферен-

ции обратили внимание на то, что отмеченные недостатки во многом вызваны келейностью разработки норм, без широкого их обсуждения научно-технической общественностью на стадии подготовки. Между тем научно-технический потенциал, как известно, не ограничивается Москвой, солидные научные школы сформировались во многих городах России, игнорировать опыт которых вряд ли разумно. Конференция приняла рекомендацию о том, чтобы при подготовке новой редакции норм заблаговременно провести обсуждение проекта на страницах журнала «Бетон и железобетон».

2-я Сибирская конференция показала устойчивое стремление специалистов-железобетонщиков к регулярному научному общению (1-я конференция состоялась в 1991 г., а до этого несколько сессий Сибирского филиала ФИП). В то же время обнаружили и тревожные симптомы: из-за материальных затруднений не прибыли представители Дальнего Востока, среди авторов уменьшилась

доля молодежи, недостаточно высоким оказался научный уровень некоторых докладов. Это свидетельствует о начавшемся упадке науки в области железобетона что, впрочем, относится не только к железобетону.

Учитывая эти обстоятельства, было решено продолжить проведение подобных конференций (с расширением географии представительства до Урала включительно). Для организации конференций и координации работы был избран общественный совет из представителей Новосибирска, Омска, Томска, Кемерово, Барнаула, Челябинска, Екатеринбурга. К участию в 3-й конференции, проведение которой планируется в 1993 г. в Омске, приглашаются специалисты не только Сибири и Урала, но и других регионов России.

Адрес для справок: 630008 Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, НИСИ, кафедра ЖБК. Тел.: 66-39-60.

В. В. ГАБРУСЕНКО,
канд. техн. наук

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ПРОЖИГАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В БЕТОНЕ И ДРУГИХ МАТЕРИАЛАХ

Разработана ресурсосберегающая технология по прожиганию дуговой плазменной струей отверстий в бетонных, железобетонных, керамических и каменных материалах.

Адрес: 454106, Челябинск, ул. 2-й Западный проезд, 4

Трест Цветметспецэнерго.

Управляющему трестом П. А. СУПРУНУ

Технология,
аппаратура и внедрение —
по хоздоговору.

Редакционная коллегия: В. И. Агаджанов, Ю. М. Баженов, В. Г. Батраков, Н. Л. Биевец, В. М. Бондаренко, А. И. Буракас, В. В. Гранев, П. А. Демьянюк, В. Г. Довжик, Ф. А. Иссерс, Б. И. Корнелицын, Р. Л. Маляев, К. В. Михайлов, Т. М. Пецольд, В. А. Рахманов, И. Ф. Руденко, Р. Л. Серых (главный редактор), В. М. Силин, В. М. Скубко, Ю. Г. Хаятин, А. А. Шлыков (зам. главного редактора), Е. Н. Щербаков

Технический редактор Ю. Л. Циханкова

Корректор Н. А. Шатерникова

Сдано в набор 11.01.93. Подписано в печать 25.02.93. Формат 60×88 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 3,92. Усл. кр.-отт. 4,92. Уч.-изд. л. 5,62. Тираж 4225. Заказ № 248. Цена 50 р.

Адрес редакции:

Москва, Георгиевский пер., строение 5, 3-й этаж

Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул. 23а

Тел. 292-62-05

Набрано на ордена Трудового Красного Знамени Чеховском полиграфическом комбинате Министерства печати и информации Российской Федерации 142300, г. Чехов, Московской обл. Заказ 5062

Отпечатано в Подольском филиале
142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН

ПРЕДЛАГАЕТ ПРЕДПРИЯТИЯМ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА, СТРОИТЕЛЬНЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ И ЗАРУБЕЖНЫМ ФИРМАМ

НОВЫЙ ВОДОДИСПЕРСНЫЙ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЙ СОСТАВ ДЛЯ УХОДА ЗА БЕТОНОМ ВПС-Д

ВПС-Д разработан ВНИИжелезобетоном при участии МП «Экотех», СоюздорНИИ и А/О «Центродорстрой». Поставляется в цистернах и бочках. Морозостоек, не токсичен, экологически безопасен. Вязкость по ВЗ-4 менее 25 с. Применяется при температуре выше $+2^{\circ}\text{C}$. Рекомендуемый расход 200...400 г/м². Наносится на открытую поверхность свежееуложенного бетона механизированным способом и краскораспылительными устройствами. Регулируемое время пленкообразования при 20°C — 1...5 ч. Формирует на бетоне бесцветное или светоотражающее белоснежное покрытие.

При квалифицированном применении удовлетворяет требованиям американских (ASTM C-156, ASTM C-309) и британских (BS8110, BS ДД147) стандартов. Допустимые влагопотери бетона по ASTM — менее 0,055 г/см².

ВПС-Д предназначен для:

- ухода за цементобетонным покрытием автодорог и аэродромов, облицовок оросительных каналов, в монолитном домостроении
- защиты свежееотформованных сборных железобетонных изделий при энергоэкономичных способах тепловой обработки и безобогревном твердении.

ВПС-Д — самый дешевый и эффективный пленкообразующий материал (ПМ) в СНГ. Его стоимость в 2 раза меньше стоимости ПМ помароль.

Сравнительные показатели влагопотерь бетона (г/см²), испытанного по ASTM C-156 при расходе ПМ 300 г/м²:

ВПС-Д (ТУ 21-33-119—92)	0,005
Помароль	0,039
Сопсиг WB (Англия)	0,027
Бетон без ухода	0,290

ВПС-Д обеспечивает получение высококачественных изделий при:

- воздушно-сухом прогреве, низкотемпературной ТВО, гелиотермообработке
- безобогревном твердении в теплоизолирующих формах с применением ускорителей твердения бетона и суперпластификаторов
- термосном твердении в камерах после формованного электроразогрева свежееуложенной бетонной смеси по методу НИИЖБ

*Предлагаются научно-техническая документация,
поставка ВПС-Д, сервисное обслуживание при внедрении.*

ОБРАЩАТЬСЯ: 111524, МОСКВА, УЛ. ПЛЕХАНОВА, 7, ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН,
ТЕЛ. 306-34-11, 306-33-46, ТЕЛЕТАЙП 207542 СТАБЕТ,
ТОПИЛЬСКИЙ ДОСВЯТОВАЯ ОБЛАСТНАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

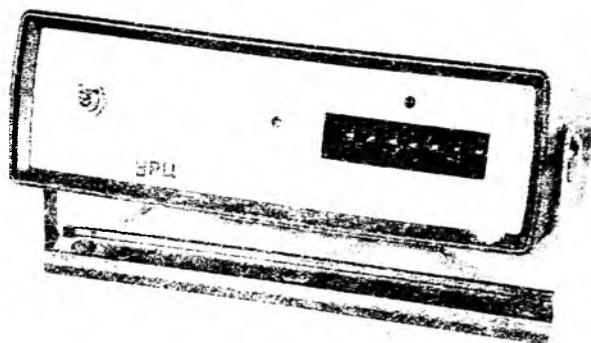


МГП «СТРОЙПРИБОР»

ВЫПОЛНЯЕТ РАБОТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОЙИНДУСТРИИ СРЕДСТВ АСУ ТП, ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ.

МГП «СТРОЙПРИБОР»

Учрежден Всероссийским федеральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским технологическим институтом строительной индустрии (ВНИИЖелезобетон)



Устройство для автоматического учета расхода цемента подключается к дозировочно-смесительным узлам и установкам периодического действия, оснащенным дозаторами АВДЦ-1200М, АД, 600-2БЦ (ДБЦ-600) и аналогичными.

Ультразвуковой прибор «Бетон-22» предназначен для контроля прочности бетона в готовых железобетонных изделиях и конструкциях. Масса прибора не превышает 1 кг. Прибор снабжен приспособлением для поверхностного прозвучивания с «сухим» контактом.



МГП «СТРОЙПРИБОР» ВЫПУСКАЕТ И ВНЕДРЯЕТ

- ультразвуковые приборы специального назначения
- системы автоматического управления дозированием компонентов бетонной смеси
- системы контроля и регулирования режима тепловлажностной обработки железобетонных изделий и конструкций
- прибор для определения уровня цемента в силосах

Заявки на приобретение и внедрение систем и приборов направляйте по адресу:

111524, Москва, ул. Плеханова, д. 7

МГП «Стройприбор»

Телефон: 176-72-06

Телетайп: 207542 СТАБЕТ

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



Цена 50 р. Индекс 50

ISSN 0005-0886 Бетон и железобетон 1993 — № 3 — 1—37