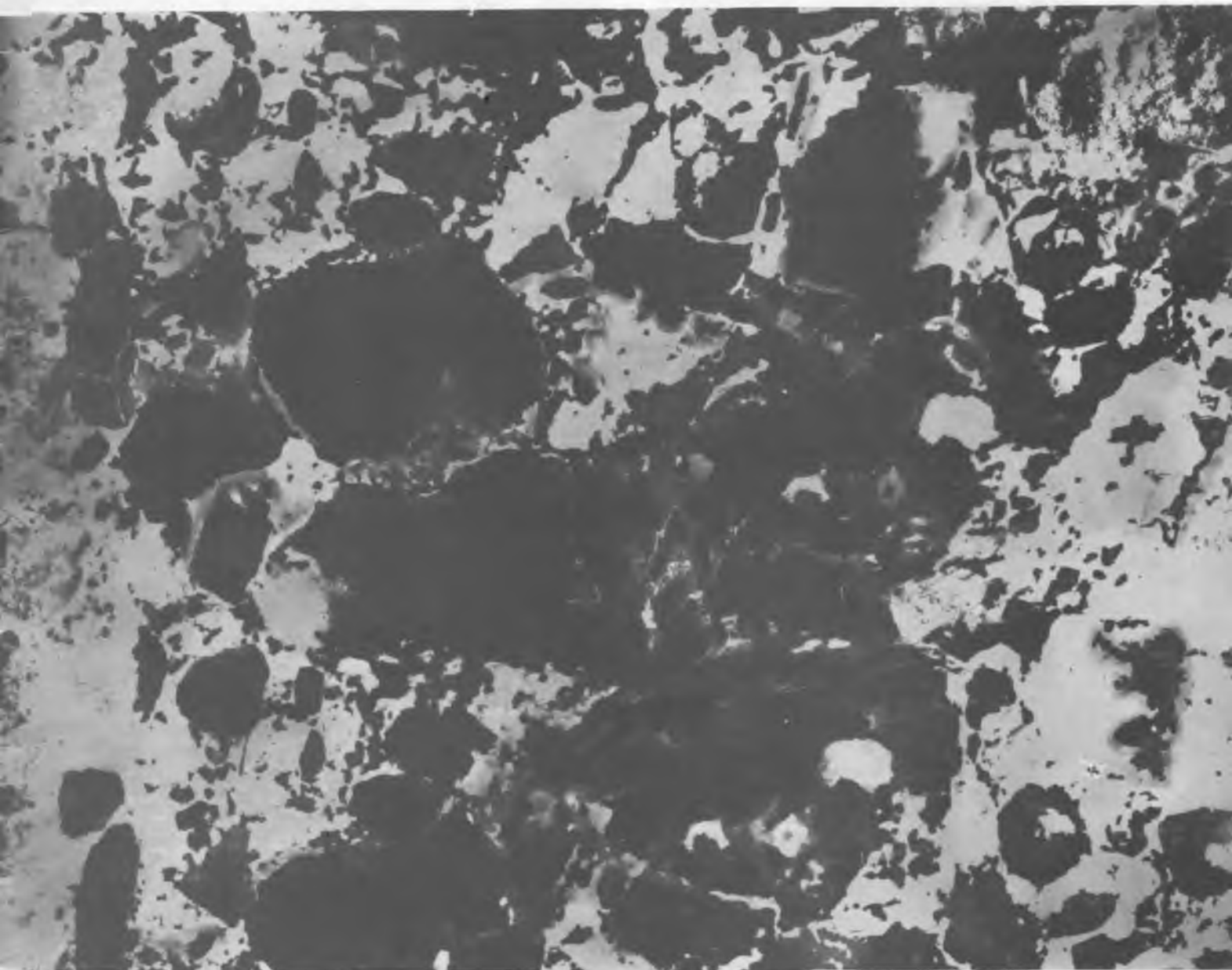


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

6

2004





НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ

ИНТЕРПРИБОР

ПРОИЗВОДСТВО И РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ
ПРИБОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Все приборы имеют:
- простое и удобное меню;
- память результатов измерений с фиксацией времени и даты измерений;
- связь с компьютером и специальные программы для их дальнейшей обработки и архивации.

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

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

ВДЛ-5.2 - вихретоковый дефектоскоп металлов

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

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

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

454080, Челябинск-80, а/я 12771

E-mail: carat@chel.surnet.ru

http://www.interpribor.ru

т./ф: (3512) 655-638, 608-742

629-169, 629-170

г.Москва НИИЖБ тел.: (095) 174-75-13

(095) 789-28-50

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

(812) 318-64-96

СОДЕРЖАНИЕ

Навстречу 2-й Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону	2
КОНСТРУКЦИИ	
<i>КРИШАН А.Л., ГАРЕЕВ М.Ш., САГАДАТОВ А.И.</i> Сталетруبوبетонные колонны с предварительно обжатом ядром	9
БЕТОНЫ	
<i>БАШЛЫКОВ Н.Ф., ВАЙНЕР А.Я., СЕРЫХ Р.Л., ФАЛИКМАН В.Р.</i> Комплексные пластифицирующе-ускоряющие добавки на основе суперпластификатора С-3 и промышленных смесей тиосульфата и роданида натрия	13
В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ	
<i>КАСАЕВ Д.Х.</i> Оценка прочности железобетонных элементов коробчатого сечения при кручении и изгибе с кручением	17
<i>БЕРЛИНОВ М.В.</i> О расчете железобетонных конструкций при трехмерном нелинейном динамическом деформировании	19
ЭКОНОМИЯ РЕСУРСОВ	
<i>ТРЕМБИЦКИЙ С.М.</i> Энергосберегающие технологии изготовления железобетонных изделий и конструкций	23
ТЕОРИЯ	
<i>ЛАРИОНОВ Е.А., БОНДАРЕНКО В.М.</i> Влияние режима нагружения на силовое деформирование бетона	27



**ПРИГЛАШЕНИЕ К УЧАСТИЮ
ВО ВТОРОЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ (МЕЖДУНАРОДНОЙ)
КОНФЕРЕНЦИИ ПО БЕТОНУ И ЖЕЛЕЗОБЕТОНУ
(5-9 сентября 2005 г., Москва)**

Уважаемые коллеги!

С момента проведения в 2001 г. последней конференции по железобетону в строительной отрасли обозначился ряд позитивных изменений: выросло производство многих видов строительных материалов, в том числе бетона и железобетона, увеличился объем подрядных работ, из года в год заметно возрастает ввод жилья.

В то же время перед строительной отраслью России по-прежнему стоит важная задача перехода на качественно иной уровень широкого использования новых материалов ресурсо- и энергосберегающих наукоемких технологий.

Современные конструкционные материалы должны соответствовать все возрастающим требованиям, которые предъявляет к ним строительная практика. Среди главных следует назвать высокую надежность и долговечность, экологическую безопасность, минимальное изъятие природных ресурсов и максимальное использование для их производства техногенных отходов, высокие эстетические и архитектурные свойства.

Таким требованиям в полной мере отвечают бетон и железобетон, являющиеся основой современной строительной индустрии и широко используемые при возведении зданий и сооружений во всех отраслях народного хозяйства.

На 2-й Всероссийской (международной) конференции по бетону и железобетону намечено обсудить ряд кардинальных проблем. Это прежде всего создание и исследование новых видов бетонов и железобетонных конструкций, повышение энергоэффективности зданий и сооружений, их надежности и стойкости при различных воздействиях, развитие высотного строительства из железобетона, модернизация предприятий крупнопанельного домостроения, индустриализация монолитных работ, гармонизация российских и международных норм и стандартов, вопросы экологии и многое другое.

Конференция организуется при поддержке всемирных научных организаций по бетону и железобетону: Международной организации по железобетону – fib, Американского института бетона – ACI и Европейской организации по бетону – ERMCO. Параллельно с конференцией в Москве пройдет 59-я Ассамблея Международного союза по испытанию строительных материалов, систем и конструкций – RILEM, в тематике которой бетон и железобетон займут центральное место.

Это предоставит дополнительную возможность общения для российских и зарубежных специалистов.

Приглашаю профессионалов, работающих в области бетона и железобетона, принять самое активное участие в предстоящей конференции.

В.А. Аверченко

Руководитель Федерального агентства
по строительству и ЖКХ

**2-я Всероссийская (международная) конференция
по проблемам бетона и железобетона
«Бетон и железобетон – пути развития»**

Пленарные доклады

1. Бетонovedение – наука фундаментальная или прикладная

Б.В. Гусев, президент Международной инженерной академии (Россия)

2. Железобетон в Москве – ступень вверх

В.И. Ресин, вице-премьер Правительства Москвы (Россия)

3. Бетон и железобетон: безопасность среды обитания

А.И. Звездов, президент Ассоциации «Железобетон» (Россия)

4. Современные бетоны – новые возможности технологии

Ю.М. Баженов, РААСН (Россия)

В.Р. Фаликман, НИИЖБ (Россия)

К.Ковлер, Израильский технологический институт Технион (Израиль)

5. Самоуплотняющийся бетон

А. Скарендаль, президент РИЛЕМ (Швеция)

6. Микроструктура и характеристики цементного камня: что мы знаем сегодня?

К.Скривенер, Швейцарский федеральный институт технологии (Швейцария)

7. Современные цементные композиты

С. Ша, Центр современных цементных материалов (США)

8. Готовые бетонные смеси – мировая практика производства и применения

Ф. Биациоли, ЕРМКО (Италия)

Ю. С.Волков, НИИЖБ (Россия)

9. Сборный железобетон – новый этап развития

Ю.П.Григорьев, Москомархитектура (Россия)

10. Железобетонные небоскребы – тенденции мирового строительства

П.Линкей, Международный Совет по высотному строительству (Венгрия)

11. Железобетонные мосты – эстетика инженерных решений

Л.Трояно (Испания)

12. Железобетон в транспортном строительстве

В.В.Ушаков, университет МАДИ (Россия)

А.П.Сычев, ЦНИИС (Россия)

13. Железобетон в морском строительстве

Б.Гервик, почетный президент ФИБ (США)

14. Основные проблемы теории железобетона

В.М.Бондаренко, РААСН (Россия)

15. Новые российские нормы и своды правил по расчету железобетонных конструкций

А.С.Залесов, НИИЖБ (Россия)

Т.А.Мухамедиев, НИИЖБ (Россия)

16. Применение единых стандартов по бетону и железобетону в странах ЕС

Т.Хайтенен, CEN (Финляндия)

17. Современные методы контроля качества железобетонных конструкций

С.Вахавиолос, Physical Acoustic Corporation (США)

18. Арматура – переход на унифицированные сортаменты

С.А.Мадатян, НИИЖБ (Россия)

19. Долговечность и жизненный цикл железобетона

К.Андрате, институт Торохо (Испания)

20. Экология бетона и использование вторичных ресурсов

А.В.Ферронская, МГСУ (Россия)

А.Н.Тетиор, Московский государственный университет природообустройства (Россия)

Международный комитет
2-я Всероссийской (международной) конференции
по бетону и железобетону

1. Андраде К. (Испания)
2. Ахмад Ш. (США)
3. Бентур А. (Израиль)
4. Биациоли Ф. (Италия)
5. Бремнер Т. (Канада)
6. Вахавиолос С. (США)
7. Йенсен О. (Дания)
8. Ковлер К. (Израиль)
9. Кривошеев П. (Украина)
10. Лакруа Р. (Франция)
11. Линкей П. (Венгрия)
12. Маршан Ж. (Канада)

13. Михайлов К. (Россия)
14. Охама Й. (Япония)
15. Рейнхард Г.-В. (ФРГ)
16. Скарендаль А. (Швеция)
17. Скривенер К. (Швейцария)
18. Трояно Л. (Испания)
19. Хайтенен Т. (Финляндия)
20. Цай Шаохуа (Китай)
21. Ша С. (США)

Ответственные секретари комитета:
 Брюсин М. (Франция); Трамбовецкий В. (Россия)

Распорядок проведения 2-й Всероссийской конференции
и 59-й Ассамблеи РИЛЕМ, Москва 2005,
сентябрь, 5-9

РИЛЕМ			КОНФЕРЕНЦИЯ
Понедельник 05.09.2005	9-00 – 13-30	Технические комитеты (ТК)	Регистрация (фойе) Подготовка техники, выставка 14-00 - ОТКРЫТИЕ Пленарные доклады Стендовые доклады
	13-30	Обед	
	15-00-17-30	Технические комитеты	
	18-30	Ф у р ш е т	
Вторник 06.09.2005	9-00-13-30	Технические комитеты	Пленарная сессия Выставка. Стендовые доклады
	13-30	О б е д	
	15-00-17-30	Бюро, Совет	Пленарная сессия Выставка. Стендовые доклады
Среда 07.09.2005	9-00-13-30	Технические комитеты	С е к ц и и Рекламная презентация
	13-30	О б е д	
	15-00- 17-30	Совет, Бюро Редколлегии журналов	С е к ц и и
Четверг 08.09.2005	9-00-13-30	Технический день RILEM	
	13-30	О б е д	
	15-00–17-30	Технический день RILEM	
	19-00	Б а н к е т	
Пятница 09.09.2005	9-00–12-30	Генеральная Ассамблея, Бюро	С е к ц и и
	14-00–16-30		Пленарное заседание З а к р ы т и е

СЕКЦИИ

2-й Всероссийской конференции по бетону и железобетону

Шифр секции	Название секции	Руководители
100	Железобетонные конструкции зданий и сооружений, методы расчета	Бондаренко В.М. Карпенко Н.И.
200	Вопросы технологии бетона	Крылов Б.А. Коровяков В.Ф.
300	Заводская технология и сборный железобетон	Тяжлова В.Н. Афанасьева В.Ф.
400	Легкие и ячеистые бетоны	Орентлихер Л.П. Ярмаковский В.Н.
500	Вяжущие для бетонов и растворов	Кузнецова Т.В. Юдович Б.Э.
600	Добавки для бетонов и растворов	Батраков В.Г. Башлыков Н.Ф.
700	Долговечность, ремонт и восстановление железобетонных конструкций	Степанова В.Ф. Шипин А.А.
800	Железобетон в транспортном строительстве	Ушаков В.В. Сычев А.П.
900	Экологические аспекты применения бетона и железобетона	Ферронская А.В. Тетиор А.Н.
1000	Арматура и сварка	Мадатян С.А. Гурова Г.Г. Тихонов И.Н.

Требования к оформлению доклада

Ваш доклад должен быть представлен в электронном и бумажном виде с соблюдением всех перечисленных ниже условий не позднее 5 апреля 2005 г.

Общие требования к докладу в электронном виде

- Файл должен быть набран и сохранен в программе Microsoft Word в формате Microsoft Word, включая таблицы.
- Доклад должен быть представлен на русском или английском языках, а аннотация на русском и английском языках.
- В докладе следует придерживаться системы единиц СИ.
- Если Вы представляете более одного доклада на электронном носителе, каждый доклад записывается в отдельную папку.
- Имя файла должно быть набрано *латинскими* буквами, в качестве имени файла следует использовать фамилию автора и инициалы, например: *KuznetsovA.I.doc*.

Требования к структуре доклада

1. Название доклада
2. Фамилии и инициалы авторов
3. Аннотация
4. Основной текст доклада
5. Список литературы
6. Сведения об авторах доклада

Требования к оформлению доклада

1. Формат страницы и поля: Формат страницы должен быть А4. Поля должны быть по 2,5 см от каждого края страницы.
2. Шрифт: Times new roman размером 12 пунктов. В таблицах шрифт не менее 10 пунктов.
3. Название доклада: Название доклада следует писать заглавными буквами "полужирным" шрифтом на русском и английском языках.
4. Имена авторов: Инициалы и фамилии авторов после названия доклада должны набираться без выделения на русском и английском языках.
5. Аннотация: Аннотация должна быть не более 20 строк и набрана курсивом на русском и английском языках. Слово "Аннотация" писать не надо.

6. Основной текст доклада:

- ❖ Название доклада и заголовки набираются "полужирным" шрифтом. Для выделения слов в тексте используйте курсив (*наклонное начертание шрифта*).
- ❖ Абзацы друг от друга отделяются «красной строкой». Не используйте пробелы для создания «красных строк» абзацев. Используйте клавишу Tab.
- ❖ Межстрочный интервал - одинарный.
- ❖ Требования к формулам:
- ❖ Формулы должны иметь номера, заключенными в круглые скобки справа от формулы.
- ❖ Ссылки на литературу в тексте доклада должны быть в квадратных скобках, на формулы — в круглых.
- ❖ Требования к таблицам:
 - Таблицы не должны выходить за пределы полей страницы. Для широких таблиц допустимо использовать горизонтальную (т.н. "альбомную") ориентацию страницы.
 - Таблица *обязательно* должна иметь номер и название. Например:
Таблица 1. Марки бетона по морозостойкости
 - Номер и название таблицы выравнивается по середине.
 - Таблицы не должны быть закрашены или частично заштрихованы.
- ❖ Требования к рисункам:
 - Все рисунки должны быть черно-белыми, иметь названия и номера.
 - Допускается представлять рисунок отдельным файлом, но в этом случае в тексте в соответствующем месте должны присутствовать номер и название рисунка и имя файла.
 - Фотографии следует *всегда* представлять отдельным файлом. В тексте, в соответствующем месте, должны присутствовать номер и имя файла.

7. Литература:

- Слово **Литература** пишется "полужирным" шрифтом обычного размера, точка не ставится. Со следующей строки без выделения следует нумерованный список используемой литературы в алфавитном порядке.
- В ссылках на монографии и сборники трудов должны быть указаны: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, город, издательство и год издания, номера цитируемых страниц.
- В ссылках на журнальные статьи должны быть указаны фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи, название журнала, год и номер выпуска, номера цитируемых страниц.

8. Сведения об авторах:

- Слово **Авторы (Автор)** пишется "полужирным" шрифтом, точка не ставится.
- Со следующей строки без выделения должны быть набраны:
 - ◆ фамилия, имя, отчество автора полностью;
 - ◆ место работы: организация, фирма, город, страна;
 - ◆ должность, ученая степень, ученое звание;
 - ◆ почтовый адрес, телефон, факс, e-mail

Электронные носители не возвращаются. Оргкомитет конференции вправе по своему усмотрению размещать доклады в средствах массовой информации с обязательным указанием авторов работ и со ссылкой на название конференции

2-я Всероссийская конференция по бетону и железобетону

Бетон и железобетон: пути развития

Москва, 5-9 сентября 2005 г.

Регистрационная форма

Пожалуйста, заполните и верните:
109428, г. Москва, 2-я Институтская ул. д. 6, НИИЖБ
Телефон/факс: (095) 174-79-07, (095) 174-72-07
e-mail: ysv@niizhb.ru, info@niizhb.ru

Заполняется только одним участником (ксерокопии принимаются)

Участник	Участник Фамилия	Имя		Отчество
	Организация			
	Почтовый адрес			Телефон
	e-mail:			Факс
	Город	Страна		
Сопровождающее лицо	Фамилия	Имя		Отчество
Регистрация	Регистрация и оплата	Стоимость в EUR До 01.05.05 После 01.05.05		Отметьте необходимое
	Участник (Россия)	250	300	
	Участник (СНГ)	350	400	
	Иностранный участник	450	550	
	Золотой абонемент	1800	1900	
	Серебряный абонемент	1400	1500	
	Сопровождающее лицо	160	170	
	Публикация доклада без участия, включая получение трудов конференции	100		
Материалы конференции по почте	70			
Фуршет	6 сентября	35		
Банкет	9 сентября	50		
Культурная программа	Большой театр	40		
	Троице-Сергиева Лавра	50		
	Владимир-Суздаль	145*		
	Санкт-Петербург	550		
		Итого:		
Бронирование гостиницы**	Пожалуйста, забронируйте: 1-местный 2-местный	Стоимость гостиниц варьируется от 45 до 199 EUR		Оргкомитет не гарантирует расселение при поступлении заявки после 15 июля
Выставка	Для участников 1 м ² ***	150		
	По возможности зарезервируйте стенд №	Пожалуйста, не присылайте деньги вместе с регистрационной формой. Обязательно получите счета на оплату.		

* в стоимость поездки входит проживание, питание (60 EUR) + 75 EUR за иностранца

** по вопросам бронирования гостиницы обращайтесь в Оргкомитет

*** участникам конференции предоставляются скидки

Условия для участников конференции

Регистрационный взнос (иностранный участник - 450-550 у.е.) включает:

- Участие во всех мероприятиях конференции
- Публикация докладов в трудах конференции
- Получение трудов конференции
- Посещение выставки
- Ежедневные обеды и кофе
- Фуршет
- Речной круиз по Москве-реке
- Заключительный банкет

Регистрационный взнос (участник (СНГ) - 350-400 у.е.) включает:

- Участие во всех мероприятиях конференции
- Секционный доклад
- Публикация докладов в трудах конференции
- Получение трудов конференции
- Посещение выставки
- Ежедневные обеды и кофе
- Фуршет
- Речной круиз по Москве-реке
- Заключительный банкет

Регистрационный взнос (участник- 250-300 у.е.) включает:

- Участие во всех мероприятиях конференции
- Секционный доклад
- Публикация докладов в трудах конференции
- Получение трудов конференции
- Посещение выставки
- Обед
- Кофе

Регистрационный взнос (публикация доклада без участия - 100 у.е.)

- Заочная публикация доклада в материалах конференции

Регистрационный взнос (материалы конференции по почте - 70 у.е.)

- Получение материалов конференции по почте

Сопровождающие лица (170 у.е.)

- Встреча
- Экскурсия по городу
- Обед по желанию - 40 у.е.
- Речной круиз
- Фуршет
- Банкет

Золотой абонемент - 1800 у.е. включает:

- Участие во всех мероприятиях конференции
- Секционный доклад (по желанию)
- Получение трудов конференции
- Посещение выставки
- Посещение всех семинаров
- Ежедневные обеды и кофе
- Фуршет
- Заключительный банкет
- Размещение и бронирование гостиницы (4 звезды, 4 суток)
- Одно сопровождающее лицо с размещением – бесплатно
- Транспорт до гостиницы и до аэропорта

- Речной круиз по Москве-реке
- Экскурсия в Сергиев Посад (Троице-Сергиева Лавра)

Серебряный абонемент - 1400 у.е.

- Участие во всех мероприятиях конференции
- Секционный доклад (по желанию)
- Получение трудов конференции
- Посещение выставки
- Посещение всех семинаров
- Ежедневные обеды и кофе
- Фуршет
- Заключительный банкет
- Бронирование гостиницы и размещение (4 звезды, 4 суток)
- Транспорт до гостиницы и до аэропорта
- Речной круиз по Москве-реке
- Экскурсия в Сергиев Посад (Троице-Сергиева Лавра)

Условия отказа от участия

- Отказ до 1 июня 2005 г. - возвращается 90 % регистрационного взноса
- Отказ до 15 августа 2005 г. - возвращается 50 % регистрационного взноса
- Отказ после 15 августа 2005 г. - сумма регистрационного взноса не возвращается

Примечание: 1 у.е. = 1 EUR

От Оргкомитета конференции

К моменту сдачи данного номера журнала в печать было получено более 300 заявок на представление докладов на секциях конференции. Доклады получены от специалистов более чем 40 стран, в том числе: Кипр, Японии, Пакистана, США, Франции, Германии, Канады, Великобритании и др.

Кроме того, на конференции будет заслушан ряд пленарных докладов, предварительный перечень которых публикуется.

На техническом дне RILEM, который пройдет как совместное пленарное заседание ассамблеи RILEM и конференции, в четверг 8 сентября, также будут представлены доклады по фибронаполненным ремонтным составам, современным цементам, химическим добавкам, урокам аварий железобетонных конструкций и др.

Оргкомитет обращается ко всем участникам, приславшим заявки на представление доклада, прислать их полные тексты с приложением краткой аннотации на русском и английском языках до 30 марта 2005 г. Правила оформления докладов размещены на сайте конференции www.conf.niizhb.ru.

**Тел./факс Оргкомитета +7 (095) 174 - 7665,
174 – 9372; e-mail: ysv@niizhb.ru**

А.Л.КРИШАН, канд. техн. наук, М.Ш.ГАРЕЕВ, А.И. САГАДАТОВ, инженеры (Магнитогорский государственный технический ун-т)

Сталетрубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром

В последние годы сталетрубобетонные (СТБ) колонны находят все более широкое применение при строительстве высотных зданий, метрополитенов и большепролетных мостов во многих индустриально развитых странах мира. Внешняя стальная обойма труботетонных элементов служит одновременно и в качестве опалубки, и в качестве продольной и поперечной арматуры. Простая технология изготовления, обеспечение высокой скорости строительства при возведении монолитных зданий, существенная экономия металла за счет повышенной несущей способности и значительная огнестойкость делают конструкции из стальных труб, заполненных бетоном, особенно привлекательными. Многие исследователи отмечают, что более высокая прочность СТБ колонн, по сравнению с традиционными железобетонными, обусловлена работой бетона, находящегося в условиях объемного сжатия.

Тем не менее, достаточно широко известны и некоторые недостатки труботетонных элементов. Одним из основных недостатков СТБ колонн является то, что из-за разницы в коэффициентах Пуассона бетона и стали при эксплуатационных нагрузках внутреннее бетонное ядро и стальная обойма работают неэффективно.

Теоретические исследования, выполненные в этом направлении, позволили некоторым специалистам [1] сделать вывод о том, что в большинстве случаев труботетон представляет собой недостаточно технически совершенную конструкцию, в которой труба фактически является опалубкой, работающей как обойма лишь перед разрушением бетонного ядра.

С учетом всего вышесказанного, задача разработки более эффективной конструкции сжатого труботетонного элемента является весьма актуальной.

Один из путей ее реализации - использование в элементах с внешней стальной обоймой бетона, твердеющего под воздействием прессующего давления [2,3].

Основной особенностью изготовления предлагаемых труботетонных элементов является применение длительного (в течение 24...48 ч) прессования бетонной смеси давлением порядка 2...4 МПа. Для создания прессующего давления используется пустотообразователь специальной конструкции [4], который до укладки бетонной смеси устанавливается по продольной оси стальной трубы-обоймы. При обжатии отформованной бетонной смеси изготавливаемого элемента (посредством нагнетания в пустотообразователе масла под избыточным давлением величиной 5...7 МПа) в обойме создаются предварительные растягивающие напряжения. Благодаря этому после сброса избыточного давления в пустотообразователе обеспечивается боковое обжатие бетона элемента, т.е. создание в изготавливаемом элементе так называемой «активной обоймы». К 28-суточному возрасту величина предварительного обжатия бетонного ядра составляла 1,2...3 МПа.

Таким образом, предложен новый сталетрубобетонный элемент [5], имеющий предварительно обжатое ядро (СТБО).

С целью экспериментальной проверки влияния эффекта «активной обоймы» на несущую способность элементов предложенной конструкции были проведены испыта-

ния лабораторных образцов СТБО, работающих на сжатие в области случайных эксцентриситетов. Опытные образцы изготавливали как призматической формы с квадратным поперечным сечением 100х100 мм, так и цилиндрической формы с наружным диаметром сечения 159 мм. Высота испытанных элементов колебалась в диапазоне от 600 до 1000 мм.

Призматические элементы имели в поперечном сечении круглое отверстие диаметром порядка 30 мм (отверстие образовалось в результате использования пустотообразователя). В качестве стальной внешней обоймы для них служили по два холодногнутых швеллера № 10 (по ГОСТ 8278-83) с толщиной стенки 3 мм и шириной полки 50 мм, сваренных в коробку. Всего таких элементов было изготовлено шесть штук. Три образца (серия ПО2.100.3) с расчетной величиной давления обжатия бетона 1,8 МПа и три образца (серия ПО3.100.3) – с давлением обжатия 2,9 МПа. Для экспериментальной оценки эффекта «активной обоймы» одновременно изготавливались аналогичные образцы из обычного (не обжатого) бетона того же состава (серия ПН.100.3). Опресованные элементы без армирования (серия ПО2.100) исследовались с целью изучения свойств бетона, твердеющего под давлением.

Цилиндрические элементы имели кольцевое поперечное сечение с отверстием диаметром порядка 45 мм. Внешней обоймой для них служили стальные электросварные трубы по ГОСТ 10704 с наружным диаметром 159 мм и толщиной стенки порядка 1, 5, 3 и 6 мм (серии необжатых образцов ЦН.159.3 и ЦН.159.6, обжатых - ЦО2.159.1,5, ЦО1.159.3, ЦО2.159.3, ЦО3.159.3, ЦО3.159.6).

Все опытные элементы со стальной обоймой по торцам окаймлялись металлическими пластинами, выполненными из стали Ст.3 толщиной 10 мм.

Непосредственно перед проведением испытаний лабораторных образцов бетонных и трубобетонных элементов определялись предел текучести и модуль упругости материала стальной трубы, кубиковая, призмическая прочности и начальный модуль упругости исходного бетона конструкций. Величина предела текучести стали для холодногнутого швеллера составила 290 МПа, а для стальной трубы – 270 МПа. Начальный модуль упругости стали для них получился одинаковым и равным $2,05 \cdot 10^5$ МПа. Осредненное значение начального модуля упругости бетона составило $27,2 \cdot 10^4$ МПа.

Результаты определения прочностных характеристик бетона опытных образцов приведены в таблице. Здесь же даны исходные данные по величине бокового давления обжатия бетона P , призмической прочности исходного бетона R_b , а также определенные из экспериментов значения нагрузок, соответствующих верхней границе микротрещинообразования в бетоне N_{u1} и максимально достигнутой нагрузке N_{u2} . Суммарное усилие несущих способностей бетонного ядра и трубы, испытанных отдельно, N_{sb} находилось расчетным путем.

Характер разрушения цилиндрических образцов СТБО в целом соответствовал данным проведенных ранее исследований [6,7,8] на колоннах из СТБ:

для элементов, имеющих относительно толстую стенку ($\delta/d \geq 0,03$), разрушение всегда сопровождалось образованием гофров по периметру обоймы и раздроблением бетона в прилегающей зоне;

для тонкостенных элементов из бетонов повышенной прочности наблюдалось разрушение бетонного ядра от сдвига верхней части по отношению к нижней под углом $45...60^\circ$. Стальная обойма при этом практически по всей поверхности загружаемых образцов находилась в стадии текучести и повторяла деформации ядра.

Анализ напряженно-деформированного состояния показал, что

Серия, образец	P , МПа	R_b , МПа	N_{u1} , кН	N_{u2} , кН	N_{bs} , кН	N_{u1}/N_{u2}	N_{u1}/N_{bs}	N_{u2}/N_{bs}
ПН.100.0-1	0	21,3	80	133	-	0,60	-	-
ПН.100.0-2	0	21,3	85	133	-	0,64	-	-
ПН.100.0-3	0	22,2	90	150	-	0,60	-	-
ПО.100.0-1	2,0	21,3	160	233	-	0,68	-	-
ПО.100.0-2	2,0	24,1	160	246	-	0,65	-	-
ПО.100.0-3	2,0	20,9	150	224	-	0,67	-	-
ПН.100.3-1	0	20,0	433	567	495	0,76	0,87	1,14
ПН.100.3-2	0	17,9	420	520	477	0,80	0,88	1,10
ПН.100.3-3	0	21,0	440	533	501	0,82	0,88	1,06
ПО2.100.3-1	1,8	22,9	507	800	518	0,63	0,98	1,54
ПО2.100.3-2	1,8	21,8	533	767	508	0,69	1,05	1,51
ПО2.100.3-3	1,8	22,7	546	733	516	0,74	1,06	1,42
ПО3.100.3-1	2,9	18,5	567	800	482	0,71	1,18	1,66
ПО3.100.3-2	2,9	22,3	567	800	512	0,71	1,11	1,56
ПО3.100.3-3	2,9	20,1	600	867	493	0,69	1,22	1,76
ЦН.159.3-1	0	19,1	742	1117	696	0,66	1,06	1,60
ЦН.159.3-2	0	24,2	806	1138	777	0,71	1,04	1,46
ЦН.159.3-3	0	21,7	806	1138	737	0,71	1,09	1,54
ЦН.159.6-1	0	24,8	1059	1676	1182	0,63	0,90	1,42
ЦН.159.6-2	0	25,3	1059	1826	1191	0,60	0,89	1,53
ЦН.159.6-3	0	25,1	1095	1715	1187	0,64	0,92	1,44
ЦО1.159.3-1	1,2	16,1	824	1099	649	0,75	1,27	1,69
ЦО1.159.3-2	1,2	20,6	925	1117	720	0,83	1,14	1,53
ЦО2.159.3-1	1,8	24,8	942	1392	921	0,68	1,01	1,65
ЦО2.159.3-2	1,8	27,2	1059	1425	959	0,74	1,10	1,49
ЦО2.159.3-3	1,8	23,3	960	1392	898	0,69	1,07	1,55
ЦО3.159.3-1	3,0	19,1	1145	1335	694	0,81	1,65	1,92
ЦО3.159.3-2	3,0	24,2	1224	1475	773	0,83	1,58	1,91
ЦО3.159.3-3	3,0	21,7	1145	1422	734	0,81	1,56	1,94
ЦО3.159.1,5-1	3,0	23,8	1177	1295	570	0,91	1,86	2,27
ЦО3.159.1,5-2	3,0	24,2	1177	1308	598	0,90	1,86	2,19
ЦО3.159.1,5-3	3,0	22,3	1128	1287	547	0,88	2,06	2,35
ЦО3.159.6-1	3,0	24,8	1583	2170	1182	0,73	1,34	1,84
ЦО3.159.6-2	3,0	25,3	1613	2170	1191	0,74	1,35	1,82
ЦО3.159.6-3	3,0	25,1	1640	2256	1187	0,73	1,38	1,90

поведение образцов всех серий под нагрузкой было во многом схожим. В начальный период загрузки стальная труба деформировалась упруго и работала с бетоном совместно. С возрастанием нагрузки в бетоне образовывались микротрещины, и он начинал оказывать боковое давление на трубу. Здесь необходимо отметить, что для элементов СТБО относительные значения условных границ микротрещинообразования получались значительно выше, чем для СТБ образцов.

При дальнейшем увеличении нагрузки в стальной трубе достигалось состояние текучести. Бетонное ядро, работая в условиях объемного сжатия и потому способное деформироваться существенно больше, чем при одноосном сжатии, еще несколько ступеней продолжало воспринимать возрастающую нагрузку.

Разрушение призматических образцов происходило всегда в результате образования гофров на поверхности всех четырех граней вблизи торца. Эксперименты показали, что до нагрузок $N = (0,5...0,7)N_{u2}$ бетонное ядро и оболочка работали совместно, а затем, по мере увеличения нагрузки, в поперечном сечении происходило местное выпучивание стенок стальной обоймы, которое приводило к образованию гофров. Максимальный прогиб стенок совпадал с главными осями испытываемых образцов, а минимальный – с его углами.

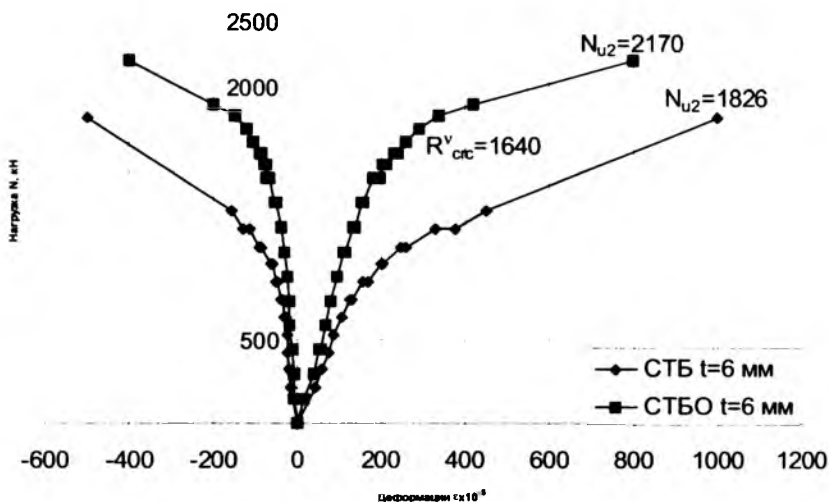
Исходя из такой деформированной схемы, можно сделать вывод о том, что использованная стальная обойма из гнутосварного профиля, вследствие относительно малой изгибной жесткости стенок, была не способна оказывать равномерное обжатие бетонного ядра по его пе-

риметру. И, как следствие, эффективность таких элементов оказалась ниже, чем у СТБ кольцевого сечения.

Построенные по результатам экспериментов зависимости относительных деформаций бетона и стальной обоймы трубобетонных элементов от нагрузки для образцов всех серий имели схожий характер. В качестве примера на рисунке приведены такие зависимости для элементов серий ЦН.159.6 и ЦО3.159.6. Из рисунка хорошо просматривается характерный для подобных конструкций прямолинейный участок зависимости « $N-\epsilon$ », продолжающийся до относительно высоких уровней загрузки. Здесь же следует отметить, что для СТБО элементов величина нагрузки, соответствующая окончанию их упругой работы, была всегда больше таковой для аналогичных конструкций СТБ. При дальнейшем повышении нагрузки рассматриваемая зависимость практически всегда достаточно резко отклонялась от прямой линии. Предельная деформативность испытываемых элементов в ряде случаев была на порядок выше, чем у обычных железобетонных элементов.

Проведенные опыты на образцах серий ЦН.159.6 и ЦО3.159.6 подтвердили известный факт того, что короткий центрально сжатый трубобетонный элемент с достаточно толстой обоймой практически очень сложно разрушить в полном смысле этого слова. Здесь мы имеем дело со статически неопределимой системой. Поэтому хотя и сталь, и бетон вследствие неоднородного напряженного состояния в отдельных (локальных) зонах начинают претерпевать значительные деформации на относительно ранних ступенях загрузки за счет перераспределения усилий между ними, испытываемый элемент еще долго может воспринимать возрастающую нагрузку.

Например, максимально зафиксированная в экспериментах нагрузка для третьего образца серии ЦО3.159.6 составила 2256 кН. При этом в стальной обойме напряжения достигли предела текучести при нагрузке 1467 кН. Наибольшие деформации укорочения при полной потере несущей способности достигали



Зависимости относительных деформаций бетона и стальной обоймы трубобетонных элементов от нагрузки

10 % от первоначальной длины испытываемого элемента (по данным работы [6], эти деформации могут достигать 15 % и более).

В этой связи особенно актуален вопрос об установлении четкого критерия, соответствующего наступлению первого предельного состояния трубобетонной конструкции. Вопрос об этом уже давно и достаточно широко обсуждался среди специалистов в области железобетона. Однако до сих пор по этому поводу нет единого мнения.

Исследователи для трубобетонных элементов отмечали три характерные стадии напряженно-деформированного состояния СТБ, по которым в той или иной мере можно судить о наступлении в них предельного состояния.

Одна из них — достижение максимальной продольной силы безотносительно к деформациям СТБ элементов, т.е. полную потерю ими несущей способности. Не вдаваясь в анализ достоверности принимаемых при таком подходе к расчету прочности различных предпосылок и допущений, а только опираясь на имеющиеся опытные данные, можно утверждать, что допускать соответствующее этой стадии напряженно-деформированное состояние трубобетонных элементов не следует. Задолго до наступления этой стадии, как уже отмечалось выше, продольные деформации трубобетон-

ных элементов достигают чрезмерно больших величин. Эксплуатация реальных конструкций при таких деформациях невозможна.

Другая стадия соответствует уровню нагрузки, при которой продольные деформации стальной обоймы достигают какой-то заранее заданной максимально возможной величины. Эта величина связывается с окончанием упругой работы внешней стальной оболочки, так как многие считают невозможным оценить напряженное состояние трубобетонного стержня при работе стали за пределом пропорциональности. Например, В.А. Росновский за такую предельную деформацию рекомендовал брать значение $\epsilon_1 = 220 \cdot 10^{-5}$.

Отметим здесь только один очевидный недостаток такого подхода. Он сводится к тому, что при применении в качестве высокопрочной стали ее прочность может быть недоиспользована.

Следующая стадия, принимаемая за предельную, подразумевает достижение в трубе-оболочке деформаций, соответствующих напряжениям текучести стали (физических или условных) в продольном направлении. Эта точка зрения является более обоснованной и чаще других применяется при проведении современных исследований трубобетона. Однако при внимательном рассмотрении данного вопроса мож-

но отметить некоторые противоречия между таким подходом к расчету и получаемыми экспериментальными данными.

Известно, что стальная обойма СТБ элементов при их работе на осевое сжатие находится в плоском напряженном состоянии. Текучесть стали в этом случае обусловлена в основном совместным действием осевых и тангенциальных нормальных напряжений. Поэтому очевидно, что при одинаковом продольном деформировании трубобетонных элементов с относительно тонкими и толстыми стенками обоймы их напряженно-деформированные состояния могут существенно отличаться друг от друга. В тонкостенных конструкциях упругая стадия работы может заканчиваться намного раньше, чем продольные деформации стальной трубы достигнут рекомендуемого выше значения. Рассматриваемая методика расчета этот факт не учитывает.

В этой связи предлагается новый подход к расчету прочности сжатых трубобетонных элементов, в большей степени учитывающий имеющиеся экспериментально-теоретические исследования в данной области.

В условиях выполненных нами экспериментов, а также по многочисленным данным других исследований [6-9] при нагрузках, превышающих по крайней мере на 10...20% уровень начала текучести трубы, всегда сохранялось примерно равенство между деформациями бетона и стали в продольном направлении, т.е. их совместная работа продолжалась. Сопоставления опытных величин относительных деформаций для элементов СТБ и СТБО с результатами экспериментально-теоретических исследований закономерностей продольного деформирования бетона в условиях трехосного сжатия [10] позволяют утверждать, что в начальной стадии текучести обоймы бетонное ядро может иметь значительные резервы с точки зрения его прочности. Учитывая возможность перераспределения усилий между сталью и бетоном, логично не связывать наступление предельного состояния трубобетонных конструкций только с наступлением состояния текучести в стальной обойме.

Выполненный анализ показывает, что в качестве предельно допустимой для трубобетонных элементов можно принимать нагрузку, соответствующую достижению напряжений в бетоне уровня верхней границы микротрещинообразования $R_{\text{срг}}^v$. В наших опытах, как правило, этот уровень соответствовал нагрузке на одной из следующих ступеней после перехода стальной трубы в текучее состояние. Относительные продольные деформации бетона при этом находились в интервале $(210...350) \times 10^{-5}$, что вполне допустимо с точки зрения ограничения предельных деформаций конструкций. Для конструкции такое состояние может считаться относительно безопасным. Ведь хорошо известно, что статические напряжения в бетоне, значения которых меньше $R_{\text{срг}}^v$, обычно не вызывают его разрушения при любой длительности нагружения, так как развитие возникающих в бетоне микроразрушений со временем прекращается. Если же бетон нагружен большими напряжениями, то появившиеся нарушения структуры будут прогрессировать, и через определенное время бетон, а вслед за ним и вся конструкция могут разрушиться.

При теоретическом анализе напряженно-деформированного состояния стелетрубобетонных элементов следует рассматривать два случая.

Первый случай – для элементов СТБ – когда в процессе нагружения последовательно протекают три этапа:

1) этот этап длится от начала нагружения до достижения напряжений в бетоне уровня условной нижней границы микротрещинообразования. До начала нагружения в стальной обойме обычно имеется небольшое растягивающее напряжение в тангенциальном направлении, вызванное происходящими процессами набухания бетона. Однако в процессе увеличения осевой сжимающей силы, вследствие имеющих различия в коэффициентах Пуассона бетона и стали, боковое давление на обойму со стороны ядра практически отсутствует. Условия работы бетона близки к одноосному сжатию;

2) вследствие интенсивного образования и развития микротрещин в бетоне его поперечные деформации начинают расти быстрее. Сталь-

ная обойма сдерживает рост этих деформаций, воспринимая боковое сжимающее давление со стороны бетона. Бетон находится в благоприятных условиях объемного сжатия, сталь – в условиях неравномерного сжатия и растяжения;

3) характеризуется началом текучести в трубе и достижением в бетоне ядра уровня напряжений, соответствующего верхней условной границе микротрещинообразования $R_{\text{срг}}^v$. В случае кратковременного нагружения, при достижении напряжениями в бетоне уровня $R_{\text{срг}}^v$ несколько ранее того состояния, когда стальная обойма «потечет», конструкцию можно считать еще работоспособной. Напряжения и в стали, и в бетоне в известных пределах еще можно увеличивать. Если напряжения в трубе раньше достигли текучести, то предельное состояние наступит после того, как в бетоне процесс разрыхления структуры начнет преобладать над уплотнением.

Второй случай – для элементов СТБО. Характеристики изменения напряженно-деформированного состояния в трубобетоне в процессе нагружения в основном аналогичны рассмотренным выше. Существенная разница состоит только в том, что в этом случае как бы объединены первые два этапа. Поскольку в СТБО элементах в процессе изготовления создается необходимый минимум предварительного растяжения стальной обоймы и боковое обжатие бетонного ядра, последнее с самого начала нагружения осевой сжимающей силой находится в благоприятных условиях объемного сжатия. Границы микротрещинообразования $R_{\text{срг}}^0$, $R_{\text{срг}}^v$ для такого бетона существенно повышаются. Следовательно, наступление третьего этапа следует ожидать при гораздо больших нагрузках.

Этот вывод полностью подтверждается полученными экспериментальными данными. Из сопоставления отношений N_{u1}/N_{bs} для элементов различных серий можно сделать вывод, что образцы с предварительно обжатым ядром работают на осевое сжатие гораздо эффективнее образцов из обычного бетона. Трубобетонный эффект для СТБО конструкций находится в пределах от 10 до 100 % (в зависимости от отно-

сительной толщины стенки облоймы), для СТБ конструкций он практически не проявляется. Аналогичный эффект, но определенный от максимально достигнутой нагрузки N_{u2} для образцов всех серий выражен более ярко. Однако и в этом случае приращение прочности для элементов с предварительно обжатым ядром было несколько большим по сравнению с контрольными не обжатыми образцами.

Таким образом, результаты проведенных испытаний свидетельствуют о необходимости выполнения дальнейших экспериментально-теоретических исследований СТБО элементов с целью их дальнейшего совершенствования и скорейшего практического использования в

качестве тяжело нагруженных конструкций, работающих на сжатие в области малых эксцентриситетов. Экономия материальных и денежных ресурсов, которая может быть достигнута при этом, очевидна.

Библиографический список

1. Катаев В.А. Теоретическое исследование и расчет трубобетона // Бетон и железобетон. — 1994. — № 2. — С. 26-28.
2. Мурашкин Г.В. Некоторые особенности формирования структуры и деформирования бетонов, твердеющих под давлением // Железобетонные конструкции. — Куйбышев: КГУ, 1979. С. 4-14.
3. Матвеев В.Г., Кришан А.Л. Пустотные брусковые элементы из опресованного бетона // Бетон и железобетон. — 1989. — № 7. — С. 24-25.
4. Полезная модель № RU 21373

U1, МКИ³ 7 В 28 В 7/32. Пустотообразователь. Оpubл. 20.01.2002. Бюл. № 3.

5. Полезная модель № RU 26575 U1, МКИ³ 7 Е 04 С 3/36. Строительный элемент в виде стойки. Оpubл. 10.12.2002. Бюл. № 34.

6. Долженко А.А. Трубчатая арматура в железобетоне // Труды ВИСИ, сб № 5, вып. 1. — Строительные конструкции и машины, 1957. С. 11-34.

7. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Трулль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М., Стройиздат, 1974. — 144 с.

8. Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции. Киев, Будивельник, 1978. — 80 с.

9. Лукша Л.К. Прочность трубобетона. Минск, Высшая школа, 1977. — 96 с.

10. Соломенцев Г.Г. О закономерностях продольного деформирования бетона при трехосном пропорциональном сжатии // Известия вузов. Строительство и архитектура. — 1975. — № 10. — С. 20-2.

БЕТОНЫ

Н.Ф. БАШЛЫКОВ, канд. техн. наук, А.Я. ВАЙНЕР, д-р хим. наук (ЗАО «Полимоод»);
Р.Л. СЕРЫХ, д-р техн. наук (МАДИ-ГТУ); В.Р. ФАЛИКМАН, канд. хим. наук (НИИЖБ)

Комплексные пластифицирующие-ускоряющие добавки на основе суперпластификатора С-3 и промышленных смесей тиосульфата и роданида натрия

Ускорители твердения и противоморозные добавки занимают важное место среди многочисленных добавок в бетон. Они нашли широкое применение при возведении монолитных, сборных и сборно-монолитных зданий и сооружений, изготовлении сборных бетонных и железобетонных конструкций, производстве каменных работ [1].

Ускорение твердения бетона позволяет существенно повысить эффективность бетонных работ — увеличить оборачиваемость опалубки и бортоснастки, снизить энергетические затраты при изготовлении

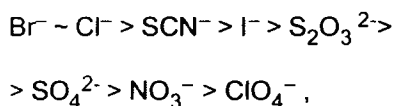
сборных изделий и конструкций, сократить сроки строительства. Обеспечение твердения цементных систем при пониженных температурах без снижения качества — острая необходимость для нашей страны, во многих регионах которой такие температуры в течение года являются доминирующими.

Анализ значительного количества исследований по проблеме ускорения твердения бетонов показывает перспективность применения в цементных системах электролитов совместно с суперпластификаторами [2]. Заметим, однако, что повы-

шенные количества традиционных электролитов, которые вводятся в бетонную смесь для обеспечения твердения при пониженных температурах, часто приводят к появлению высолов, снижению долговечности бетона, особенно морозостойкости. Ряд электролитов, применяемых в технологии бетонных работ, способствует развитию коррозионных процессов в армированных конструкциях [3]. Прежде всего это касается хлоридов, применение которых в железобетоне запрещено действующими нормами большинства развитых стран.

В связи со сказанным выше понятен интерес, который в последние годы различные исследователи проявили к солям щелочных и щелочноземельных металлов, в первую очередь, к роданиду и тиосульфату натрия [4].

Обе натриевые соли являются эффективными ускорителями твердения бетона при нормальных и пониженных температурах, что обеспечивает быстрый набор прочности на ранних стадиях твердения. Обобщая данные, полученные в разное время авторами [5] и [6], а также рядом отечественных исследователей, влияние анионов этих солей (SCN^- и $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) на гидратацию и тепловыделение цементных систем легко проследить в ряду



из которого следует, что роданиды и тиосульфаты по своему воздействию часто превосходят сульфаты и нитраты, обычно применяемые в традиционной технологии бетона.

Роданид и тиосульфат натрия способствуют уменьшению размеров капиллярных пор с одновременным увеличением количества гелевых пор, повышают плотность микрокапиллярной структуры цементного камня. Эти добавки не вызывают коррозии арматуры в бетоне [3], нетоксичны, увеличивают водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

Все это позволяет рассчитывать на более широкое применение роданида и тиосульфата натрия в качестве эффективных ускоряющих и противоморозных добавок. Однако обе соли в индивидуальном виде относительно дороги. Поэтому значительный интерес могут представлять промышленные смеси, в которых в реально значимых количествах содержатся роданид и тиосульфат натрия, например, некоторые полупродукты переработки коксового газа, где содержание указанных солей превышает 60%.

В последние годы появилось несколько сообщений, в которых упоминается совместное использование роданида и тиосульфата на-

трия в составе ускоряющих и противоморозных добавок для бетонных смесей [7, 8]. Эта информация носит весьма ограниченный характер и не позволяет выявить особенности пластифицирующего и ускоряющего действия таких комплексов.

Настоящая работа посвящена разработке новых полифункциональных добавок для бетонных смесей пластифицирующего и ускоряющего действия на основе пластификатора С-3 и упомянутых выше бесхлоридных промышленных смесей электролитов. Содержание тиосульфата натрия в таких смесях около 50%, роданида натрия – примерно 10%.

Использованная промышленная смесь, как показал проведенный нами ее полный химический анализ, в основном содержит электролиты, не имеющие одноименные с портландцементом ионы. Такого рода электролиты ускоряют процесс твердения вяжущего вследствие увеличения ионной силы жидкой фазы, что, в свою очередь, повышает растворимость исходных мономинералов и новообразований [2].

Следует отметить, что в литературе обычно указывается на различие механизмов действия электролитов и органических ПАВ, а также уровней структуры, на которые эти добавки оказывают преимущественное влияние. Это позволяет не только устранять отрицательные последствия присутствия одного из индивидуальных компонентов (например, замедление процессов структурообразования и твердения на ранних стадиях со стороны пластификаторов), но и усиливать эффект каждого из них. Именно поэтому введение в бетонную смесь таких комплексных добавок является весьма перспективным [2].

В проведенных испытаниях применяли портландцемент ПЦ 500 Д0 Старооскольского цементного завода, природный песок с $M_{кр} = 2,1$ и гранитный щебень фракции 5...20 мм. Составы бетонов (В/Ц = 0,51) назначали с учетом требований ГОСТ 30459. Добавки вводили в бетонную смесь в виде водных растворов. При испытаниях бетонной смеси определяли ее объемную

массу, подвижность по осадке конуса, сохраняемость, содержание вовлеченного воздуха. Прочность бетона на сжатие определяли в возрасте 1, 2, 3, 7 и 28 сут нормально-го твердения.

В ходе этих испытаний мы остановились на двух составах смеси суперпластификатора С-3 по ТУ 5870-002-58042865-03 и натриевых солей рассматриваемого типа, которые далее обозначаются как Реламикс-1 и Реламикс-2, причем содержание электролитов во втором составе примерно в 2 раза больше, чем в первом. Добавки «Реламикс» выпускаются и реализуются в форме водных растворов и сухих порошков. Пластифицирующий эффект и интенсивность нарастания прочности бетона с указанными комплексными добавками исследовали при оптимальных дозировках последних, определенных по результатам предварительных экспериментов.

Водосодержание бетонных смесей назначали из условия обеспечения подвижности бетонной смеси контрольного состава (без добавок) на уровне 2-4 см осадки конуса, в качестве критерия эффективности добавок принимали увеличение подвижности бетонных смесей с добавками с 2-4 см до 21-22 см осадки конуса.

Предварительно было установлено, что использованная смесь роданида и тиосульфата натрия при рабочей дозировке 0,8-1,0% массы цемента оказывает слабое пластифицирующее действие на бетонные смеси и способствует увеличению прочности пластифицированного бетона. В равноподвижных бетонных смесях за счет введения в их состав 0,8-1,0% смеси двух солей обеспечивается небольшое сокращение расхода воды и снижение водоцементного отношения на 5-7%. Прочность же бетона на сжатие из такой смеси существенно увеличивается. В ранние сроки твердения (1-3 сут) она возрастает на 45-70%, в более поздние (7-28 сут) – на 10-20%.

Что касается широко известного и применяемого повсеместно в нашей стране суперпластификатора

Таблица 1

№ п/п	Показатель качества бетонных смесей и бетонов с добавками	Изменение показателей по сравнению с контрольным составом без добавок	
		добавка Реламикс-1*	добавка Реламикс-2*
1	Марка по удобоукладываемости	Увеличение от П1 (ОК 2-4 см) до П5 (ОК 20-21 см)	
2	Прочность на сжатие при нормальном твердении в пластифицированных (по п. 1) смесях, в возрасте, сут	Увеличение, не менее чем на, %	
	1	5	20
	3	10	15
	7	10	15
	28	5	5
3	Прочность на сжатие при нормальном твердении в равноподвижных смесях (П1), в возрасте, сут	Увеличение, не менее чем на, %	
	1	55	75
	3	65	80
	7	50	60
	28	20	35

* дозировка добавок 0,6% массы цемента

С-3, то проводимый нами систематический анализ показывает, что выпускаемый сегодня продукт вызывает снижение прочности пластифицированного бетона в ранние сроки твердения. В первые сутки нормального твердения оно составляет 5-10%, а в ряде случаев - 25-30% и более. Это связано с целым рядом технологических факторов, главными из которых являются используемое сырье, изношенность оборудования, сбои в технологических процессах. Как правило, такое отставание нарастания прочности прекращается при дальнейшем твердении, причем на 2-3 сут контрольный и пластифицированный бетоны по прочности практически совпадают.

Объединяя суперпластификатор С-3 со смесью тиосульфата и роданида натрия в комплексную добавку, можно получить бетонные смеси и бетоны, лишенные указанных недостатков. В табл. 1 приведены полученные нами результаты исследования влияния разработанных порошкообразных комплексных добавок на набор ранней прочности бетона при марках по подвижности смесей П1 и П5.

Из табл. 1 можно видеть, что за период 1-28 сут прочность модифицированных таким образом бетонов превышает прочность контрольных образцов в течение всего наблюдаемого отрезка времени, причем эффективность ускоряющего действия этих добавок тем выше, чем меньше подвижность бетонной смеси. В то же время увеличение содержания неорганических солей в добавке Реламикс-2, по сравнению с первым составом, заметным образом сказывается в жестких бетонных смесях, когда значительно возрастает прочность бетона во все сроки твердения.

В табл. 2 приведены показатели прочности бетона из умеренно подвижных смесей (П2) в зависимости

от дозировки комплексных добавок, содержащих тиосульфат и роданид натрия.

Анализ табл. 2 показывает, что комбинация суперпластификатора С-3 и промышленной смеси тиосульфата и роданида натрия позволяет значительно снизить дозировку индивидуальных добавок. Из анализа следует, что совместное введение суперпластификатора С-3 с исследуемой смесью солей приводит к определенному синергизму в действии этих компонентов комплексной добавки и способствует значительному повышению ускоряющего и пластифицирующего эффектов последней.

Рассмотрим возможную физико-химическую природу синергетического эффекта. Как следует из табл. 2 (п.п. 1 и 3,4), подвижность бетонной смеси не зависит от дозировки суперпластификатора С-3, которая снижается при переходе от состава с добавкой Реламикс-1 к составу с добавкой Реламикс-2. Таким образом, налицо повышение пластифицирующего (водоредуцирующего) эффекта С-3 с ростом дозировок рассматриваемых неорганических солей. Это может быть связано с особенностями формирования фаз AFm и AFt [1] при гидратации цемента в их присутствии.

AFm-фазы имеют общую формулу $[\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})(\text{OH})_6] \cdot \text{X} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где X – одна формульная единица однозарядного аниона или половина формульной единицы двузарядного аниона. Большинство таких фаз достаточно плохо закристаллизованы и тесно перемешаны с C-S-H. Кристаллы могут содержать более чем одну разновидность катиона X.

AFt-фазы имеют общую структурную формулу $[\text{Ca}_3(\text{Al},\text{Fe})(\text{OH})_6]$.

Таблица 2

№ п/п	Наименование добавки	Дозировка, % массы цемента	Повышение прочности на сжатие при нормальном твердении, %, в возрасте, сут	
			1-3	7-28
1.	С-3	0,6	20-30	10-20
2.	Смесь тиосульфата и роданида натрия	1,0	40-50	10-20
3.	Реламикс-1	0,6	40-60	20-25
4.	Реламикс-2	0,6	50-70	30-35

$\cdot 12\text{H}_2\text{O}] \cdot \text{X} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где X – одна формульная единица двузарядного аниона или две формульные единицы однозарядного аниона, а $n \leq 2$. Фазы AFt образуются в условиях, во многом сходных с AFm, но при более высоких соотношениях CaX и $\text{Ca}_3(\text{Al}, \text{Fe})$ и редко при температуре выше 90°C. Однозарядные анионы могут быть размещены в их структуре только до ограниченных пределов.

Для продуктов конденсации нафталинсульфоокислоты с формальдегидом, а именно к этим продуктам относится суперпластификатор С-3, величина пластифицирующего эффекта в значительной степени определяется величиной адсорбции и изменением электрокинетического потенциала, причем чем меньше этот потенциал, тем выше диспергирующая способность указанной добавки [9].

Хорошо известно, что в случае высокой адсорбционной способности цемента требуется назначение повышенных дозировок С-3, а адсорбционная способность, в свою очередь, определяется гидроалюминатными фазами [2]. Формирование фаз AFm и AFt способствует конкурентному снижению величины адсорбции суперпластификатора на гидратирующемся цементе и, как следствие, повышению эффективности добавки.

Кроме того, адсорбируясь на поверхности частиц вяжущего, анионы электролитов изменяют электрокинетический потенциал частиц клинкера, влияющий на степень их взаимодействия. Они способны значительно снизить ζ -потенциал в результате увеличения концентрации

противоионов и сжатия двойного электрического слоя [10]. Таким образом, пластифицирующая способность С-3 в присутствии тиосульфата и роданида натрия будет возрастать, что и наблюдается на практике.

В табл. 3 приведены сравнительные показатели эффективности порошкообразных добавок на основе смеси С-3, тиосульфата и роданида натрия для подвижных смесей (П4).

Из данных табл. 3 следует, что введение указанных добавок в тех же дозировках, как у суперпластификатора С-3, обеспечивает более высокие прочностные показатели бетона во все сроки твердения, существенно улучшают показатели его морозостойкости и водонепроницаемости. При увеличении дозировки добавки Реламикс-2 заметно возрастает сохраняемость бетонной смеси.

Кроме того, бетонные смеси с добавками Реламикс позволяют значительно улучшить параметры тепловлажностной обработки при изготовлении сборных железобетонных конструкций – в зависимости от дозировки добавок сократить продолжительность прогрева на 20-30% или снизить температуру прогрева на 15-30%. При необходимости расход цемента можно уменьшить на 20-30%.

Выводы

Разработаны новые комплексные пластифицирующие и ускоряющие добавки на основе суперпластификатора С-3 и смеси солей тиосульфата и роданида натрия. Уста-

новлено, что эти добавки позволяют получать удобоукладываемые бетонные смеси при пониженной дозировке С-3, обеспечивают быстрый набор прочности бетона, повышают долговечность последнего, его морозостойкость и водонепроницаемость, улучшают параметры термообработки, способствуют снижению расхода цемента. Эти перспективные добавки недефицитны, недороги и могут быть рекомендованы для широкого применения в строительстве, особенно при возведении монолитных зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. // Добавки в бетон: Справ. пособие. Под ред. В. С. Рамачандрана. – М.: Стройиздат, 1988. С. 382 – 434.
2. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: 1998 – 768 с.
3. Nmai C. K. Cold Weather Concreting Admixtures. // Cem. Concr. Comp. 1998. V. 20. № 2/3. P. 121-128
4. Башлыков Н. Ф., Вайнер А. Я. Химические аспекты влияния добавок тиосульфата и роданида натрия на цементные системы. // Сб. докл. VI Межд. науч.-произв. конференции «Дни современного бетона», 7-9 июня 2004 г. Запорожье, 2004 г. С. 44-49.
5. Kantro D.L. // J. Testing Evaln. , 3, p.312 (1975).
6. Мураками Х., Танака Х. // Пятый Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат. 1973. С.С. 242-243.
7. Граник Ю. Г., Левина В. С., Данилов В. И. и др. Авт. свид. СССР № 973501. 1986. Опубл. 1986. Бюлл. № 29.
8. Синайко Н. П., Лихопуд А. П., Сопов В. П., Толмачев С. Н. // Долговечность строительных конструкций. Теория и практика защиты от коррозии. – М.: Центр экономики и маркетинга, 2002 г. С. 152-158.
9. Ohta A., Sugiyama T., Tanaka Y. Fluidizing Mechanism and Application of Polycarboxylate – based Superplasticizers. / Am. Concr. Inst., SP. 1997. SP – 173. p.p. 359-378.
10. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. М., изд-во «Химия», 1964 г. – 574 с.

Авторы выражают глубокую признательность инженерам В. А. Смирнову и Т.Л. Зиминной за помощь в проведении экспериментальных работ.

Таблица 3

№ п/п	Наименование добавки	Дозировка, % массы цемента	Сохраняемость смеси, час	Повышение прочности на сжатие при нормальном твердении, %, в возрасте, сут		Показатели долговечности	
				1-3	7-28	морозостойкость	водонепроницаемость
1	С-3	0.6	0.75-1.0	10-20	5-10	F300	W8
2	Реламикс-1	0.6	0.75-1.0	20-40	10-15	F400	W10
3	Реламикс-2	0.6	0.75-1.0	30-45	20-25	F500	W10
4	Реламикс-2	1.0	1.5-2.0	40-50	20-25	F500	W12

Д.Х.КАСАЕВ, канд. техн.наук (Карачаево-Черкесская государственная технологическая академия)

Оценка прочности железобетонных элементов коробчатого сечения при кручении и изгибе с кручением

В исследовании [1] была получена расчетная формула, оценивающая прочность железобетонных элементов прямоугольного сечения при кручении, которая после упрощений имеет вид

$$T = \frac{0.80}{1 + 2\xi_T} b_0 h_s q (1 + \varphi) \sqrt{\frac{1 + \varphi^2}{1 + \varphi^4}}, \quad (1)$$

где $\xi_T = \sqrt{\xi_S^2 + \xi_W^2}$; $\xi_S = \frac{\sigma_S A_{s,tot}}{R_b b h}$;

$$\xi_W = \frac{2\sigma_W a_W}{R_b b S}; \quad q = \sqrt{q_S^2 + q_W^2};$$

$$q_S = \frac{\sigma_S A_{s,tot}}{2(b_S + h_S)} \sqrt{1 - \left(\frac{2e_S}{h_S}\right)^2};$$

$$q_W = \frac{\sigma_W a_W}{S}; \quad \varphi = q_W / q_S;$$

где σ_S , σ_W — предел текучести продольной и поперечной арматуры соответственно; ξ_S , ξ_W — механический коэффициент продольного и поперечного армирования соответственно; q_S , q_W — силовая интенсивность продольного и поперечного армирования соответственно; a_W — площадь сечения поперечного стержня (хомута); $A_{s,tot}$ — площадь сечения продольных стержней; b_0 — рабочая ширина сечения; e_S — эксцентриситет приложения предельной силы в продольной арматуре.

Остальные обозначения соответствуют принятым в СНиП [2].

Формула (1) применительно к элементам коробчатого сечения не меняет своего вида, следует лишь механические коэффициенты продольного и поперечного армирования определять с учетом наличия пустоты из выражений

$$\xi_S = \frac{\sigma_S A_{s,tot}}{R_b (bh - b_V h_V)}; \quad \xi_W = \frac{\sigma_W a_W}{R_b S (b - b_V)}, \quad (2)$$

где b_V , h_V — ширина и высота пустоты сечения соответственно.

Предполагается, что при изгибе с кручением для

элементов коробчатого сечения предельная область будет ограничиваться тем же графиком взаимодействия, который был выявлен для элементов прямоугольного сечения в исследовании из работы [3]. Расчетные условия, описывающие эту предельную область, имеют вид

при интенсивном изгибе с кручением, когда $T_M \leq 0,5 T$,

$$M_T = M; \quad (3)$$

при изгибе с кручением, когда $M_T / M > 0,5$ и $T_M / T > 0,5$,

$$M_T / M + T_M / T = 1,5; \quad (4)$$

при интенсивном кручении с изгибом, когда $M_T \leq 0,5 M$;

$$T_M = T, \quad (5)$$

где M , T — несущая способность при изгибе и кручении, определяемая по формулам СНиП [2] и формуле (1), соответственно; M_T , T_M — несущая способность по изгибу и по кручению, соответственно, при совместном действии изгиба с кручением.

Для проверки приемлемости указанных подходов использованы опытные данные, полученные в исследованиях, приведенных ниже.

Опыты А. Кадера [4]. Из 9 опытных балок, испытанных на кручение, 3 имели коробчатое сечение с размерами 20х30 см при толщине стенок 6 см. Образцы армировались 4 стержнями одинакового диаметра — 14 или 18 мм, расположенных по углам сечения. В качестве продольной арматуры была использована высокопрочная сталь с условным пределом текучести 939 МПа при $\varnothing 14$ мм и — 988 МПа при $\varnothing 18$ мм. Поперечная арматура была изготовлена в виде замкнутых хомутов из арматурной стали диаметром 12 мм и с пределом текучести 316 МПа. Шаг хомутов был принят для одной балки 4 см, для двух остальных — 8 см. Прочность бетона на сжатие составляла для одной балки 27,4 МПа, а для двух остальных — 32,7 МПа.

Опыты А.И. Турова [5]. В этих опытах на кручение и изгиб с кручением подвергались по 4 балки коробчатого сечения с размерами 20х36,6 см при толщине стенки 6 см. Все балки имели одинаковое продольное армирование в виде 4-х стержней диаметром 18 мм, расположенных по углам сечения, с пределом текучести 998 МПа. Четыре балки имели предварительное напряжение. Поперечная арматура была принята в виде замкнутых хомутов диаметром 11,8 мм с пределом текучести 350 МПа. В одних балках шаг хомутов был принят равным 8 см, в других — 4 см. Призмная прочность бетона составляла 15,6...39,2 МПа.

Опыты Р. Эванса и С. Саркара [6]. В эксперименте из 18 балок три были подвергнуты кручению, остальные — изгибу с кручением. Образцы имели три типоразмера поперечного сечения: 15,2х19; 15,2х22,9 и 15,2х30,5 см при одинаковой толщине стенок размером 3,8 см. Продольная арматура состояла из четырех стержней диаметром 9,5 мм с пределом текучести 383 или 415 МПа. Поперечная арматура в виде вязаных хомутов была принята из проволоки диаметром 6,4 мм с пределом текучести 287 или 323 МПа. Шаг хомутов для всех образцов составлял 10,2 см. Призмная прочность менялась в пределах 23,4...40,1 МПа.

Опыты Т.Хсу [7]. В обширных экспериментах кручению подверглись четыре балки коробчатого сечения шириной 25,4 см и высотой 38,1 см. Толщина стенки составляла 6,4 см. Продольная арматура состояла из четырех стержней одинакового диаметра. Диаметр продольных стержней балок D1, D2, D3 и D4 составлял 12,7, 15,9, 19 и 22,2 мм соответственно. Предел текучести арматуры составлял 328...337 МПа. Поперечная арматура была принята в виде замкнутых хомутов диаметром 9,5 или 12,7 мм с пределом текучести 340 и 338 МПа соответственно. Призмная прочность бетона изменялась в пределах 21,8...25 МПа.

Опыты Д. Джонстона и П. Зиа [8]. В опытах над 28 балками 11 подверглись кручению, остальные — изгибу с кручением. Образцы имели коробчатое сечение с круглой пустотой диаметром 21,6 см и с размерами сторон 30,5х30,5 см. Продольная арматура состояла из шести стержней диаметром 9,5 мм с пределом текучести 1900 МПа. Поперечная арматура в виде вязаных хомутов была изготовлена из арматурной проволоки диаметром 6,4 мм с пределом текучести 280 МПа. Шаг хомутов был принят равным 7,6 или 15,2 см. Призмная прочность бетона составляла 23,5 ... 35,6 МПа.

Опыты Н. Свечи [9]. В составе 20 балок, испытанных на изгиб с кручением, 4 балки имели как продольное, так и поперечное армирование. Балки были предварительно напряженными, квадратного сечения с размерами 22,9х22,9 см. Пустоты были приняты двух размеров: 10,2х12,7 и 12,7х12,7 см. Балки армировались четырьмя стержнями одинакового диаметра, расположенными по углам сечения. Диаметр арматурных стержней составил 12,7 мм с условным пределом текучести 991 МПа. Поперечная арматура была изготовлена из арматурной проволоки диаметром 6,4 мм с пределом текучести 366 МПа. Шаг хомутов был принят равным 15,2 см. Призмная прочность бетона составляла 43,8 МПа.

Таким образом, кручению было подвергнуто 25 балок, а на изгиб с кручением — 37 образцов коробчатого сечения.

Расчет несущей способности по формуле (1) образцов, испытанных на кручение, и сравнение их с опытными данными показали, что максимальные отклонения опытных значений от расчетных составили -18...+25 % при среднем значении их отношения, равном 1,03.

Для опытных балок, испытанных на изгиб с кручением, были осуществлены расчеты несущей способности по формулам (3...5). Сравнение расчетных с опытными значениями показало, что максимальные отклонения опытных от расчетных составили -19 ... +35 % при среднем значении их отношения равном 1,02.

Выводы

1. Расчетный аппарат по оценке прочности элементов прямоугольного сечения может быть использован для расчета коробчатых элементов.
2. График взаимодействия между изгибающим и крутящим моментами для элементов коробчатого сечения имеет ту же форму, что и для элементов прямоугольного сечения.

Библиографический список

1. Касаев Д.Х. Прочность элементов прямоугольного сечения при кручении. // Бетон и железобетон. — 1987. — № 12. — С. 23-24.
2. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. — М.: Стройиздат. 1989. — 79 с.
3. Касаев Д.Х. Прочность железобетонных элементов прямоугольного сечения с ненапрягаемой арматурой при кручении с изгибом. // Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона. — Ростов-на-Дону. РИСИ, 1986. — С. 47-52.
4. Кадер А. Деформации железобетонных элементов сплошного и пустотелого прямоугольного сечения при длительном нагружении крутящим моментом: Автореф. дис... канд. техн. наук. — М., 1991. — 22 с.
5. Туров А.И. Перемещения железобетонных стержней сплошного и пустотелого прямоугольного сечения с учетом предварительного напряжения при изгибе с кручением: Автореф. дис... канд. техн. наук. — М, 1988. — 21 с.
6. Evans R.H., Sarkar S. A. Method of Ultimate Strength Design of Reinforced Concrete Beams in Combined Bending and Torsion // Structural Engineer. — 1965. № 10. — P-337.
7. Hsu T.T.C. Torsion of Structural Concrete — Behavior of Reinforced Concrete Rectangular Members // Torsion of Structural Concrete // Publication SP-18. ACI-Detroit, Michigan — 1968. P-261.
8. Johnston D. IV. Zia P. Prestressed Box Beams under Combined Loading // SD Journal. ASCE- 1975 №7.
9. Swamy N. The Behavior and Ultimate Strength of Prestressed Concrete Hollow Beams Under Combined Bending and Torsion // Magazine of Concrete Research. — 1962. Ж40-P-13.

О расчете железобетонных конструкций при трехмерном нелинейном динамическом деформировании

Повышение эффективности и качества промышленного и гражданского строительства требует применения более экономичных и надежных конструкций, что становится возможным, если использовать при проектировании передовые экономичные методы расчета. Создание таких методов связано с необходимостью более полного знания реальных свойств материалов, отражающих их действительное поведение под действием внешних нагрузок. Построение таких методов расчета неразрывно связано с учетом нелинейных и реологических свойств материалов.

Очевидно, что совершенствование расчетных методов лежит на путях их все большего усложнения, связанного с необходимостью использования очень сложного математического аппарата. А использование такого мощного инструмента, как современные ПЭВМ и их программного обеспечения, позволяет реализовать достаточно сложные математические построения с помощью численных методов и необходимой линеаризации нелинейных зависимостей.

Предлагаемая расчетная методика базируется на основных исходных предпосылках современной феноменологической теории нелинейно деформируемого упруго-ползучего тела [2]. Она учитывает и геометрическую нелинейность, выражающуюся в нелинейных зависимостях между деформациями и перемещениями [1], что связано с рассмотрением значительных перемещений, возможных при резонансных режимах колебаний (гипотеза Коши считается, как обычно, справедливой).

В случае реального деформирования необходимо принимать во внимание работу арматуры, причем рассмотрение необходимо осуществлять для двух случаев: до появления трещин в бетоне и после их появления. Во всех существующих моделях деформирования железобетона в случае отсутствия трещин принимается гипотеза совместности линейного деформирования арматуры и бетона, что дает возможность достаточно просто учитывать влияние арматуры на жесткость железобетона при осевом и сдвиговом деформировании, влияние арматуры на жесткость элементов в направлениях, поперечных к направлениям стержней, влияние дополнительной косо устанавливаемой арматуры, а также – ослабление бетона арматурными каналами. В общем случае объемного ортотропного армирования "поток" стержней совпадают с направлениями осей координат x, y, z , (рис. 1).

В объемных каркасах стержни располагаются с определенным шагом a_x, a_y, a_z , вдоль соответствующих координатных осей, и каждое направление характеризуется соответствующим коэффициентом армиро-

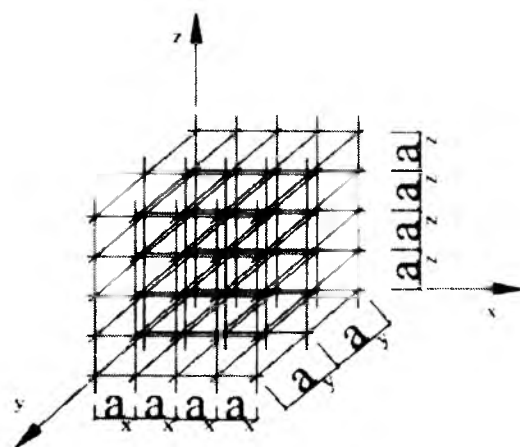


Рис. 1. Схема ортотропного армирования

вания μ_{si} ($i=x,y,z$), равным площади стержней, приходящихся на единицу площади площадки, проведенной нормально к соответствующему направлению стержней

$$\mu_{sx} = A_{sx}/a_y a_z; \mu_{sy} = A_{sy}/a_x a_z; \mu_{sz} = A_{sz}/a_x a_y \quad (1)$$

Полагая, что площадь поперечного сечения железобетонного элемента складывается из площади бетона и арматуры - $A_x = A_{bx} + A_{sx}$, а коэффициент армирования представляет собой отношение $\mu_{sx} = A_{sx}/A_x$, воспользуемся известной зависимостью [4]

$$\sigma_x(t) = (1 - \mu_{sx}) \sigma_{bx}(t) + \mu_{sx} \sigma_{sx}(t) \quad (2)$$

В уравнении (2) первое слагаемое будем именовать, в соответствии со сложившимися традициями, приведенными напряжениями в бетоне, а второе слагаемое – приведенными напряжениями в арматуре.

Интерпретируя известное положение о деформировании сплошной среды в условиях трехмерного напряженно-деформированного состояния и трактуя его относительно напряжений, можно положить

$$\sigma_x(t) = \sigma_x(t) - v[\sigma_y(t) + \sigma_z(t)]; \quad (3)$$

На рис. 2 показана схема действия нормальных и

менного фактора и принимать в расчетах в известном упруго-линейном виде

$$\varepsilon_{sx} = \frac{1}{E_s} [\sigma_{sx} - \nu_s (\sigma_{sy} + \sigma_{sz})] \quad (8)$$

Сравнивая зависимости (7) и (8), на основании тождества (5) можно получить уравнение относительно неизвестной искомой величины, за которую принимаются напряжения в арматуре. Решив это уравнение с помощью последовательного сравнения продольных и поперечных деформаций, получим

$$\begin{aligned} \sigma_{sx} = & \sigma_{bxm}(t) \frac{E_s}{E_m^0(t)} S[\sigma_{bxm}(t)] - \\ & - \frac{\nu_b}{\nu_s} \frac{E_s}{E_m^0(t)} \{ \sigma_{bym}(t) S[\sigma_{bym}(t)] + \sigma_{bzm}(t) S[\sigma_{bzm}(t)] \} - \\ & - \int_{t_0}^t \frac{\partial}{\partial \tau} E_s \sigma_{bxp}(\tau) S[\sigma_{bxp}(\tau)] \times \\ & \times K(\sigma_{bxp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) C(t, \tau) d\tau + \\ & + \frac{\nu_b}{\nu_s} E_s \int_{t_0}^t \frac{\partial}{\partial \tau} \{ \sigma_{byp}(\tau) S[\sigma_{byp}(\tau)] \times \\ & \times K(\sigma_{byp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) + \\ & + \sigma_{bzp} S[\sigma_{bzp}(\tau)] K(\sigma_{bzp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \} C(t, \tau) d\tau \end{aligned} \quad (9)$$

Подставляя это значение в выражение (2) и учитывая, что $\alpha = E_s / E_m^0(t)$ – общеизвестное соотношение модулей упругой деформации арматурной стали и бетона, называемое коэффициентом приведения арматуры к бетону, можно получить значения средних напряжений с учетом влияния стальной арматуры вдоль оси x . Проводя аналогичные рассуждения, получим значения и двух других компонентов напряжений вдоль оставшихся осей y и z

$$\begin{aligned} \sigma_x(t) = & (1 - \mu_{sx}) \sigma_{bxm}(t) S[\sigma_{bxm}(t)] [1 + \alpha \mu_{sx}] - \\ & - \nu_b \{ (1 - \mu_{sy}) \sigma_{bym}(t) S[\sigma_{bym}(t)] [1 + \alpha \mu_{sy}] + \\ & + (1 - \mu_{sz}) \sigma_{bzm}(t) S[\sigma_{bzm}(t)] [1 + \alpha \mu_{sz}] \} - \\ & - (1 - \mu_{sx}) \int_{t_0}^t \sigma_{bxp}(\tau) S[\sigma_{bxp}(\tau)] \\ & \left[1 + \mu_{sx} E_s K(\sigma_{bxp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) \right] d\tau + \\ & + \nu_b \int_{t_0}^t \{ (1 - \mu_{sy}) \sigma_{byp}(\tau) S[\sigma_{byp}(\tau)] \\ & \left[1 + \mu_{sy} E_s K(\sigma_{byp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) \right] + \\ & + (1 - \mu_{sz}) \sigma_{bzp}(\tau) S[\sigma_{bzp}(\tau)] [1 + \mu_{sz} E_s K(\sigma_{bzp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau)] \} d\tau \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + (1 - \mu_{sz}) \sigma_{bzp}(\tau) S[\sigma_{bzp}(\tau)] \\ & \left[1 + \mu_{sz} E_s K(\sigma_{bzp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) d\tau \end{aligned} \quad (10)$$

$$\tau_{xy}(t) = (1 - \mu_{sxy}) \tau_{bxy}(t) S[\tau_{bxy}(t)]$$

$$\begin{aligned} & \left[1 + \alpha k_v \mu_{sxy} \right] - (1 - \mu_{sxy}) \int_{t_0}^t \tau_{bxy}(\tau) S[\tau_{bxy}(\tau)] \\ & \left[1 + \mu_{sxy} E_s k_v K(\tau_{bxy}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) \right] d\tau \end{aligned}$$

В этих уравнениях $k_v = (1 - \nu_b) / (1 - \nu_s)$ учитывает различие в коэффициентах относительных поперечных деформаций бетона и арматуры.

Рассматривая значения напряжений из формул (10) совместно с механическими уравнениями деформирования упруго-ползучего тела [2], получим значения деформаций железобетона в условиях трехмерного напряженно-деформированного состояния, работающего без трещин

$$\begin{aligned} & (1 - \mu_{sx}) [1 + \alpha \mu_{sx}] \sigma_{bxm}(t) S[\sigma_{bxm}(t)] - \\ & - \varepsilon_x(t, t_0) = \frac{\nu_b \left\{ (1 - \mu_{sy}) [1 + \alpha \mu_{sy}] \sigma_y(t) S[\sigma_{by}(t)] + \right. \\ & \left. + (1 - \mu_{sz}) \sigma_{bzm}(t) S[\sigma_{bzm}(t)] \right\}}{E_m^0(t)} - \\ & - (1 - \mu_{sx}) \int_{t_0}^t \sigma_{bxp}(\tau) S[\sigma_{bxp}(\tau)] [1 + \mu_{sx} E_s K(\sigma_{bxp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau)] d\tau + \\ & + \nu_b \int_{t_0}^t \{ (1 - \mu_{sy}) \sigma_{byp}(\tau) S[\sigma_{byp}(\tau)] \\ & \left[1 + \mu_{sy} E_s K(\sigma_{byp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) \right] + \\ & + (1 - \mu_{sz}) \sigma_{bzp}(\tau) S[\sigma_{bzp}(\tau)] [1 + \mu_{sz} E_s K(\sigma_{bzp}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau)] \} d\tau \\ & \gamma_{xy} = \frac{2(1 + \nu)}{E_m^0(t)} (1 - \mu_{sxy}) \tau_{bxy}(t) S[\tau_{bxy}(t)] [1 + \alpha k_v \mu_{sxy}] - \end{aligned}$$

$$-2(1+\nu)(1-\mu_{sxy}) \int_{t_0}^t \tau_{bxyr}(\tau) S[\tau_{bxyr}(\tau)] [1+\mu_{sxy} E_s (\tau_{bxyr}, \omega_{\min}, \omega, \tau) \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau)] d\tau \quad (11)$$

В случае образования трещин, при определении напряжений по граням элементарного объема, работающего с трещинами, можно воспользоваться известной предпосылкой В.И. Мурашева и методикой, подробно описанной в [2]. Опуская очевидные более простые рассуждения, аналогичные вышеизложенным, приведем значения деформаций

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E_s} [\psi_{sx} \mu_{sx} \sigma_{sx} - \nu_s (\psi_{sy} \mu_{sy} \sigma_{sy} + \psi_{sz} \mu_{sz} \sigma_{sz})] \\ \gamma_{xy} = \frac{E_s \mu_{sxy}}{\psi_{sx} n_{tx}} \tau_{sxy}, \quad (12)$$

где ψ_{sx} – коэффициент В.И. Мурашева, учитывающий влияние растянутого бетона и сцепление арматуры с бетоном; n_{tx} – коэффициент нагельного эффекта определяемый по методике [4].

Для получения разрешающих уравнений в перемещениях необходимо использовать традиционную методику, используемую при выводе уравнений Ламе с той лишь разницей, что необходимо учесть нелинейность и реологию деформирования в форме (10) и (11) с использованием дифференциальных уравнений равновесия и, воспользовавшись нелинейными формулами Коши, подставить в полученный результат связанные с деформациями значения перемещений. Проведя группировку и другие математические преобразования можно получить следующие зависимости относительно трех неизвестных функций u, v и w

$$\left\{ [\bar{\lambda}(t) + \bar{\lambda}(t)] \frac{\partial}{\partial x} \theta \varphi(\theta) + \bar{\mu}(t) \nabla^2 u \varphi(u) + \right. \\ \left. + \bar{\mu}(t) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \nabla^2 u + \frac{\partial v}{\partial x} \nabla^2 v + \frac{\partial w}{\partial x} \nabla^2 w \right) \right\} + \\ + X = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \\ \left\{ [\bar{\lambda}(t) + \bar{\mu}(t)] \frac{\partial}{\partial y} \theta \varphi(\theta) + \bar{\mu}(t) \nabla^2 v \varphi(v) + \right. \\ \left. + \bar{\mu}(t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} \nabla^2 u + \frac{\partial v}{\partial y} \nabla^2 v + \frac{\partial w}{\partial y} \nabla^2 w \right) \right\} + \\ + Y = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \\ \left\{ [\bar{\lambda}(t) + \bar{\mu}(t)] \frac{\partial}{\partial z} \theta \varphi(\theta) + \bar{\mu}(t) \nabla^2 w \varphi(w) + \right. \\ \left. + \bar{\mu}(t) \left(\frac{\partial u}{\partial z} \nabla^2 u + \frac{\partial v}{\partial z} \nabla^2 v + \frac{\partial w}{\partial z} \nabla^2 w \right) \right\} +$$

$$+ Z = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (13)$$

где $\lambda(t)$ и $\mu(t)$ – интегральные операторы, учитывающие нелинейность и реологию деформирования; Θ – функция нелинейности деформирования.

Анализируя нелинейную систему уравнений (13), можно сделать вывод о том, что отказ от геометрической и физической нелинейности деформирования, а также от реологических свойств материалов превратит эти зависимости в формулы Ламе, хорошо известные в теории упругости.

Очевидно, что замкнутое интегрирование уравнений (13) встретит непреодолимые математические трудности, поэтому для получения инженерных решений в численном виде необходимо линейаризировать задачу хотя бы в физической области. Данная линейаризация возможна на основе совместного использования методов конечных разностей или конечного элемента и известного метода интегральных оценок [2].

Условимся учитывать, что приведенная выше система уравнений (13) применима и для чисто бетонного элемента, и при полном отсутствии арматуры; при наличии арматуры, но при отсутствии трещин; и, наконец, при наличии трещин. Очевидно, в реальных условиях деформирования в зависимости от величины действующих напряжений в одном элементарном объеме конструкции могут появиться все три перечисленных выше варианта. В этом случае алгоритмом расчета необходимо предусматривать каждую из упомянутых возможностей, т.е. в зависимости от характера деформирования по соответствующим координатным направлениям следует применять соответствующий интегральный оператор, учитывающий наличие или отсутствие армирования, присутствие или отсутствие трещинообразования.

Эти факторы, конечно, существенно усложняют алгоритмизацию метода расчета, но вполне реализуемы на современных ПЭВМ, особенно если заранее известны зоны и направления армирования, не говоря уже о его количественном значении.

В заключение заметим, что неравновесная трактовка при расчете железобетонных конструкций позволяет не только более полно учитывать реальное их поведение в условиях динамических воздействий, выявляя дополнительные резервы несущей способности и эксплуатационной пригодности, но и открывает дополнительные возможности анализа и прогноза на различных временных интервалах эксплуатации.

Библиографический список

1. Берлинов М.В., Ягулов Б.А. К вопросу расчета конструкций промышленных зданий с учетом динамических воздействий от оборудования. Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1990. № 2. – С. 21-25.
2. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. – Харьков., Изд ХГУ, 1968, с.322.
3. Бондаренко С.В. Теория сопротивления строительных конструкций режимным нагрузкам. М.: 1984, с.392.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М., Стройиздат, 1996, с.416.

С.М.ТРЕМБИЦКИЙ, канд техн. наук (ЗАО НТЦ «ЭТЭКА»)

Энергосберегающие технологии изготовления железобетонных изделий и конструкций

В основе современного интенсивного производства изделий сборного железобетона и ускоренного возведения монолитных железобетонных конструкций лежит теплотехнология бетона. Именно эта технология, используемая в России применительно к самотвердеющей системе «цемент – вода», является экономически обоснованной и успешно решающей задачи достижения требуемого качества изделий при высокой производительности. Однако этот эффективный процесс и в целом производство бетона и железобетона ещё весьма высокоэнергоёмки, и действенным стимулом и направлением их развития является процесс энерго- и ресурсосбережения.

Результаты энергетического обследования ряда московских заводов бетона и железобетона, выполненного под руководством автора, позволили уточнить структуру заводских энергозатрат (табл.1), вскрыть значительные резервы энергосбережения и, в частности, экономии тепловой энергии и топлива (табл.2).

Экономия энергоресурсов (годовая расчётная средняя) по заводам бетона и железобетона за счёт внедрения энергосберегающих мероприятий в условиях существующей централизованной системы теплоснабжения составляет на завод:

газа 2,0 млн.Нм³ (=20%)
или 16 Нм³/м³;
тепловой энергии 16000 Гкал
или 0,13 Гкал/м³;
топлива, расходуемого
в котельных, около 2500 т у.т.
или 20 кг у.т./м³.

**Экономический эффект
потенциальный на завод:**

по газу около 2,5 млн. руб;
в целом по тепловой
энергии около 4 млн. руб.

Современные российские предприятия, унаследовавшие достаточно мощные централизованные внутризаводские энергетические системы, не могут работать по принципу высокой энергоэффективности – «разумное (научно-обоснованное)

энергопотребление в данном месте и в данный момент». При этом отношение потреблённой энергии к произведённой не должно быть ниже 0,9. А отношение полезной энергии к потреблённой – не ниже 0,8. Такие показатели с результирующим КПД

Таблица 1

Структура теплопотребления на заводах бетона и железобетона в зимний период

№ п/п	Потребители тепловой энергии	Энергозатраты, %	Резерв энергосбережения, %
1	Котельная предприятия	8	3
2	Заводские теплотрассы	12	2
3	Технология:		
	тепловая обработка изделий	40	15
	подогрев инертных материалов	12	6
	подогрев воды для приготовления бетонной смеси	3	1
4	Отопление, вентиляция, горячее водоснабжение	25	8
	Итого:	100	35

Таблица 2

Показатели резерва энергосбережения в тепловых системах предприятий бетона и железобетона (по результатам энергоаудита до 2003 г.)

№ п/п	Наименование предприятия	Объём производства годовой, тыс. м ³	Расход газа фактический за год, млн. Нм ³	Экономия газа за год при обеспечении нормативного теплопотребления, млн. Нм ³
1	ОАО «Краснопресненский завод ЖБК»	300	16,5	3,3
2	ОАО «Кунцевский комбинат ЖБИ №9»	130	8,70	1,75
3	АООТ «Моспромжелезобетон»	90	8,95	1,79
4	ООО «Промцентрстрой «Очаковский ЗЖБК»	240	14,90	3,0
5	АООТ «Перовский КСМ»	20	2,63	0,5
6	ГУП «Бекерон»	70	8,80	1,76
7	АООТ «Аркадо»	100	15,80	3,2
8	ОАО «Спецстройбетон ЖБИ-17»	125	12,30	2,5
9	ОАО «Бескудниковский КСМ»	30,5	5,1	1,0
	Итого: средние значения	123	10,4	2

не ниже 0,7 не достижимы для централизованных заводских систем и, в первую очередь, систем тепловых и сжатого воздуха, работающих с КПД, равным 0,1... 0,3.

Пути повышения энергоэффективности существующих централизованных энергосистем достаточно затратны и малоэффективны. Децентрализация этих систем – наиболее результативный путь повышения заводской энергоэффективности. При общей пользе этого направления из системы централизованного энергоснабжения прежде всего следует вывести технологическое энергопотребление, составляющее 40-60 % в энергобалансе предприятия.

Термообработка бетона – вот тот энергоёмкий технологический процесс, для которого линейная зависимость мощностей производственной и энергетической и стабильность нормативного удельного энергопотребления могут быть обеспечены лишь с помощью автономных автоматизированных систем теплоснабжения.

Технические варианты децентрализации заводского теплоснабжения могут быть решены на базе следующих автономных систем:

газовых на основе:

автономных паровых или водяных котлов;

теплогазогенераторов прямого и непрямого нагрева;

газолучевых нагревателей модульных или линейных;

жидкотопливных на основе:

парогенераторов;

генераторов горячего воздуха прямого и непрямого нагрева (теплогенераторов);

электрических на основе:

автономных котлов паровых или водяных;

калориферов;

нагревателей панельных или ТЭНов;

нагревателей инфракрасных;

индукционных нагревателей;

электродного нагрева бетонной смеси.

Выбор любого из перечисленных способов автономного технологического энергоснабжения осуществляется на основе технико-экономического расчёта с учётом конкретных условий, стоимости энерго-

Таблица 3
Параметры оценки стоимости энергии и топлива
(тариф 1 кв. 2004 г., г. Москва)

№ п/п	Наименование параметров оценки	Значения параметров оценки по энергоносителям					
		Газ	Тепловая энергия			Электро-энергия	Жидкое топливо
			ТЭЦ	котельной	автономная		
1	Стоимость энергоносителя	1,2 р/Нм ³	500 р/Гкал	300 р/Гкал	250 р/Гкал	1,2 р/кВт.ч	9 р/л
2	Соотношение: условное топливо/энергоноситель	1,14 кг/Нм ³	167 кг/Гкал	160 кг/Гкал	158 кг/Гкал	0,32 кг/кВт.ч	1,1 кг/л
3	Стоимость топлива, р/кг у.т.	1,05	3,04	1,87	1,58	3,75	8,18

Таблица 4
Энергетические характеристики
способов тепловой обработки бетона

№ п/п	Способы тепловой обработки бетона	Характеристики способов		
		Тепловой КПД, средний, периода разогрева	Расход энергии удельный	Расход топлива удельный, кг у. т. м ³
1	Электроразогрев бетонной смеси	0,93	30-40 кВт.ч/м ³	9,6-12,8
2	Электрообогрев изделий в камерах	0,42	80 - 120 кВт.ч/м ³	25,6-38,4
3	Тепловая обработка в среде продуктов сгорания газа	0,26	15-20 Нм ³ /м ³	17,1-22,8
4	Тепловая обработка с применением жидкотопливных теплогенераторов	0,22	15-20 кг/м ³	20,3 -27,1
5	Паропрогрев централизованный:	фактический	0,10	0,3-0,4 Гкал/м ³
		нормативный	0,20	0,15-0,2 Гкал/м ³
6	Паропрогрев автономный (газ→пар)	0,30	0,12-0,15 Гкал/м ³	20-25

носителей и топлива и оценки энергозатрат (табл.3 и 4).

По стоимости ТЭР, как видно из табл.3, в настоящее время выгодным является газ. Наиболее эффективными автономными способами тепловой обработки бетона в сравнении с существующим централизованным паропрогревом являются электроразогрев бетонной смеси и термообработка изделий в среде продуктов сгорания газа (табл.4).

Примерами эффективного применения автономных газовых теплогенераторов прямого нагрева типа

ТРГ (камеры тепловой обработки изделий ямные и туннельные), ВС – воздухонагреватели смесительные (бункеры с подогревом песка и щебня), ВГС и ВРК (нагрев среды в производственных помещениях) являются предприятия ОАО «Комбинат строительных конструкций» (г.Ржев) и ООО «ЗКПД Томской домостроительной компании» (г.Томск).

Независимо от способа теплоподвода и системы теплоснабжения тепловых агрегатов режимы тепловой обработки изделий в них долж-

ны соответствовать критериям энергоэффективности, согласно которым определяется минимальная продолжительность активного периода тепловой обработки, связанного с энергопотреблением. Одним из таких критериев ограничения технологического энергопотребления является прочность бетона на уровне 30-40%Rm, которой соответствует определённая, зависящая от группы цемента, величина переданных бетону градусочасов, после которой процесс твердения при медленном остывании носит цепной характер, независимый от внешнего теплового воздействия.

Децентрализация технологического теплоснабжения на основе систем с внешним теплоподводом к бетону улучшает энергетические показатели процесса, но не исчерпывающе. Это всё звенья эволюционного пути развития, не дающие количественного и качественного скачка. Поэтому вопрос перевода теплотехнологии бетона на качественно новый технический уровень является давно назревшим и актуальным.

Неизбежное и для нашей страны ужесточение стандартов энергоэффективности заставит искать технические решения для реализации наиболее экономичных теплоэнергетических методов интенсификации производства.

Путь технического усовершенствования известных тепловых методов с внешним по отношению к уплотнённому бетону теплоподводом по результативности практически себя исчерпал в случае использования продуктов сгорания газа, он позволяет поднять тепловой КПД процесса до 30, а иногда до 60%.

Качественный скачок в улучшении производственных показателей возможен при условии перехода к новой тепловой схеме теплотехнологии бетона с новыми принципами технической и организационной дисциплины использования топливно-энергетических ресурсов. Новая тепловая схема теплотехнологии бетона предполагает реализацию ускоренного электроразогрева бетонной смеси до её укладки в формы и уплотнения.

Энергетические показатели способов тепловой обработки бетона,

приведённые в табл.4, наглядно демонстрируют преимущества электроразогрева бетонной смеси и представляют его как эффективный, но ещё не полностью реализованный на практике метод теплотехнологии бетона.

Техническое решение форсированного разогрева бетонной смеси представляет собой основу технического перевооружения теплотехнологии бетона с целью перевода её на идеальную технологическую и энергетическую схему.

Принципы такой схемы являются качественно новыми, несмотря на то, что в основе своей известны:

- использование бетонной смеси как проводника электрического тока с хорошими на ранней стадии электропроводящими свойствами;

- реализация раннего, быстрого и равномерного прогрева бетона с:

- начальным целевым разогревом растворной составляющей, активизирующим процессы гидратации цемента и структурообразования бетона;

- последующим нагревом путём теплопередачи крупного заполнителя, как аккумулятора тепловой энергии для последующей стадии «термоса»;

- уплотнение (вибрация, прессование, трамбование, центрифугирование, пригруз) разогретого бетона и практическая реализация при этом скрытых физических резервов повышения энергоэффективности и качества изделий;

- термосное выдерживание изделий и конструкций на постах линий и в традиционных тепловых агрегатах с использованием аккумулированной энергии без энергопотребления до набора бетоном расклубочной прочности.

Метод ускоренного прогрева бетона с генерированием тепла непосредственно в бетонной смеси в процессе её электроразогрева имеет достаточно хорошую научно-техническую проработку и должен быть поставлен на качественно новый уровень практической реализации.

Электроразогрев бетонной смеси, основанный на использовании электропроводящих свойств цементоводной жидкой фазы, является энергетически и технологически эффективным тепловым методом

ускорения твердения бетона, позволяющим:

- сконцентрировать процесс тепловой обработки бетона во времени и пространстве как в заводских, так и в строительных условиях;

- прогревать бетон быстро в раннем возрасте, в период наибольшей концентрации реагирующих веществ;

- вытеснить при последующем уплотнении бетона расширившиеся воздух и водяной пар, обеспечив этим благоприятное термонапряжённое состояние, и получить в дальнейшем при остывании бетон без трещин с более плотной структурой;

- эффективно аккумулировать тепловую энергию в массе бетона в период его наибольшей электро- и теплопроводности с незначительной теплоотдачей малотеплоёмкому материалу форм или опалубки;

- осуществлять разогрев, укладку и уплотнение бетонной смеси в широком диапазоне температур в зависимости от условий;

- эффективно сочетать тепловое воздействие с применением пластифицирующих химических добавок и ускорителей твердения бетона;

- существенно упростить и повысить надёжность системы автоматического управления, регулирования и контроля.

Техническое решение электроразогрева бетонной смеси должно отвечать следующим практически важным принципам:

- отсутствие по возможности значительных по объёму скоплений предварительно разогретой бетонной смеси вне форм или опалубки;

- быстрота и равномерность разогрева смеси в пределах небольших участков или объёмов;

- отсутствие опасности преждевременного схватывания бетонной смеси;

- сохранение электропроводящих свойств и подвижности бетонной смеси за время разогрева;

- ненарушаемость сплошности прогреваемого объёма бетонной смеси;

- самоочистка электродов;

- техническая простота, надёжность, безопасность;

- совместимость с любыми бетонными конструкциями и технологиями.

Таблица 5

Показатели эффективности новой схемы теплотехнологии бетона

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Значения показателей при тепловой обработке с	
			паропрогревом изделий	электроразогревом смеси
1	Расход энергии агрегатный	Гкал/м ³ кВт·ч/м ³	0,20 – 0,3 —	— 30–40
2	Расход энергии полный	Гкал/м ³ кВт·ч/м ³	0,25 – 0,37 —	— 37–50
3	Расход топлива	кг у.т./м ³	42,5–64	12–16
4	Расход газа	Нм ³ /м ³	37,3–56	10,5–14
5	Стоимость энергозатрат (тарифы 2004г.)	руб/м ³	75–110	45–60
6	Оценка массы вредных выбросов в атмосферу в эквиваленте CO ₂ (технологическая): масса выбросов удельная масса годовая на завод с объёмом производства 100 тыс.м ³ : расход газа годовой на технологию масса выбросов годовая	кг/м ³ млн.Нм ³ т	64 3,125 6400	21,5–28,6 1,05 - 1,4 2150 - 2860

Таблица 6

Технико-экономические показатели методов тепловой обработки железобетонных изделий с применением продуктов сгорания природного газа и электроразогрева бетонной смеси

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Значения показателей при тепловой обработке изделий с применением	
			продуктов сгорания природного газа	электроразогрева бетонной смеси
1	Производительность линии, пролёта	м ³	25000	25000
2	Количество камер ямных	шт	10	10
3	Расход энергии удельный: электрической тепловой газа топлива	кВт·ч/м ³ Гкал/м ³ Нм ³ /м ³ кг у.т./м ³	— 0,15–0,2 18–25 20,5–28,5	28 (Δt=40°C) 0,024 — 9
4	Тепловой КПД	%	12–16	95
5	Стоимость энергии	руб/м ³	20–27,5	35
6	Энергозатраты суммарные	руб/м ³	29–39,3 (κ=0,7)	41,2 (κ=0,85)
7	Оценка капитальных затрат на основное оборудование	руб	2000000	500000
8	Приведенные затраты	руб/м ³	41–51	44

Существующая в настоящее время тепловая схема теплотехнологии бетона, распределённая во времени (достаточно продолжительная) и пространстве (много камер, стенов, агрегатов с системой теплоснабжения), недостаточно использует энергетический и прочностной потенциал исходных материалов.

Оценка комплексного эффекта, который даёт заводская теплотехнология бетона на основе электроразогрева бетонной смеси в сравнении с традиционным паропрогревом изделий, приведена в табл.5:

эффект энергетический – расход топлива сокращается в 3 раза (п.3);

эффект экономический – стоимость энергозатрат уменьшается в среднем в 1,8 раза (п.5);

эффект экологический – объём сжигаемого газа и выбросы в атмосферу CO₂ и SO₂ сокращаются почти в 2,5 раза (п.4 и 6).

Теплотехнология бетона на основе электроразогрева бетонной смеси на стадии её подачи в формы или опалубку с последующим термосом изделий после уплотнения бетона по энергетическим и технологическим показателям может быть признана наиболее совершенной и оптимальной для бетона как самотвердеющего материала. Новая тепловая схема ускорения твердения бетона обеспечивает снижение технологической энергоёмкости практически в 10 раз: с 0,3–0,4 Гкал/м³ до 0,03–0,045 Гкал/м³.

Оценить технические достоинства теплотехнологии бетона с электроразогревом бетонной смеси и сравнить эту технологию по технико-экономическим показателям с наиболее эффективным прогревом бетона в среде продуктов сгорания природного газа позволяют данные табл.6.

Рассмотренные кратко методы и технические решения энергосберегающей технологии изготовления железобетонных изделий и конструкций определяют как конкретные пути совершенствования производства на основе децентрализации внутризаводских энергосистем, так и направление, обеспечивающее в перспективе комплексный энерготехнологический эффект.

Е.А.ЛАРИОНОВ, канд. физ.-мат. наук, доц.; В.М.БОНДАРЕНКО, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Московский институт коммунального хозяйства и строительства)

Влияние режима нагружения на силовое деформирование бетона

Бетон является нелинейно деформируемым материалом, проявляющим мгновенные и запаздывающие свойства силового сопротивления. Согласно предположению о сложении и взаимонезависимости частных деформаций [1]

$$\varepsilon(t, t_0) = \varepsilon_m(t) + \varepsilon_{кр.п}(t, t) + \varepsilon_n(t, t_0) \quad (1)$$

где $\varepsilon(t, t_0)$ — полная относительная силовая деформация; $\varepsilon_m(t)$ — частная мгновенная относительная силовая деформация; $\varepsilon_{кр.п}(t, t)$ — частная относительная силовая деформация кратковременной ползучести [2]; $\varepsilon_n(t, t_0)$ — частная запаздывающая относительная силовая деформация режимной ползучести [3]; t_0 — начало наблюдения; t — окончание наблюдения.

Деформация ползучести $\varepsilon_n(t, t_0)$ существенным образом зависит как от предыстории нагружения, так и от режима нагружения — от характера и длительности силового воздействия на бетон. В силу этого меру деформаций ползучести принято устанавливать при простейшем режиме нагружения, а именно при $\sigma(t) = \text{const}$ — постоянных во времени напряжениях. Получаемую при этом меру $C_o^*(t, \tau)$ называют мерой простой ползучести. Заметим, что в характерном частном случае [4]

$$C_o^*(t, \tau) = C_o^*(\infty, 0) \left[1 - e^{-\gamma_1(t-\tau)} \right] \quad (2)$$

где τ — текущее время, а γ_1 — параметр ползучести материала.

Вибрационное пригружение эталонно нагруженного образца приводит к интенсификации ползучести бетона, порождая так называемую виброползучесть бетона. Величина этой интенсификации определяется коэффициентом виброползучести K_v , и на основе экспериментальных данных принимается [5], что справедливо соотношение

$$C_{ов}^*(t, \tau) = K_v C_o^*(t, \tau) \quad (3)$$

Множитель K_v в (3) зависит от частоты вибрации ω , характеристики ползучести γ_1 и асимметрии цикла на-

гружения $\rho = \frac{\sigma - \sigma_0}{\sigma + \sigma_0} = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$, где σ — статическое напряжение в бетоне, σ_0 — амплитуда вибрационного пригружения. В работе [6] для основного характерного случая гармонического нагружения

$$\sigma(\tau) = \sigma + \sigma_0 \cos \omega \tau \quad (4)$$

установлено, что функция $K_v(\omega, \gamma_1, \rho)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial K_v(\omega, \gamma_1, \rho)}{\partial \omega} + P(\omega, \gamma_1, \rho) K_v(\omega, \gamma_1, \rho) = 0 \quad (5)$$

Здесь

$$P(\omega, \gamma_1, \rho) = \frac{\partial Z(\omega, \gamma_1, \rho)}{\partial \omega} / Z(\omega, \gamma_1, \rho) \quad (6)$$

где

$$Z(\omega, \gamma_1, \rho) = \int_0^{\pi/\omega} \sigma(\tau) \frac{\partial C_o^*(t, \tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (7)$$

Отметим, что уравнение (5) выводится с использованием инварианта Н. И. Давиденкова о независимости площади петли гистерезиса от частоты вибрации [7].

Установим вид функций $Z(\omega, \gamma_1, \rho)$ и $P(\omega, \gamma_1, \rho)$.

Согласно (7), имеем

$$Z(\omega, \gamma_1, \rho) = \gamma_1 C_o^*(\infty, 0) \left[\sigma \int_0^{\pi/\omega} e^{-\gamma_1 \tau} d\tau - \sigma_0 \int_0^{\pi/\omega} e^{-\gamma_1 \tau} \cos \omega \tau d\tau \right] \quad (8)$$

Вычислив входящие в (8) интегралы

$$\int_0^{\pi/\omega} e^{-\gamma_1 \tau} d\tau = -\frac{1}{\gamma_1} e^{-\gamma_1 \tau} \Big|_0^{\pi/\omega} = \frac{1}{\gamma_1} \left(1 - e^{-\gamma_1 \pi/\omega} \right)$$

$$\int_0^{\pi/\omega} e^{-\gamma_1 \tau} \cos \omega \tau d\tau = \frac{\gamma_1 \left(e^{-\gamma_1 \pi/\omega} + 1 \right)}{\gamma_1^2 + \omega^2}$$

и подставляя их в (8), получим

$$Z(\omega, \gamma_1, \rho) = \frac{C_0^*(\infty; 0) \left[\gamma_1^2 (\sigma - \sigma_0) - (\sigma + \sigma_0) \gamma_1^2 e^{-\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} + \sigma \omega^2 \left(1 - e^{-\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} \right) \right]}{\gamma_1^2 + \omega^2} \quad (9)$$

Поскольку $(\sigma - \sigma_0) = \sigma_{\min}$; $(\sigma + \sigma_0) = \sigma_{\max}$ и

$$\sigma = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{2}, \text{ то}$$

$$Z(\omega, \gamma_1, \rho) = \frac{C_0^*(\infty; 0) \sigma_{\max} \left[\gamma_1^2 \left(\rho - e^{-\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} \right) + \frac{1+\rho}{2} \omega^2 \left(1 - e^{-\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} \right) \right]}{\gamma_1^2 + \omega^2} \quad (10)$$

Дифференцируя функцию $Z(\omega, \gamma_1, \rho)$ по ω , находим

$$\frac{\partial Z(\omega, \gamma_1, \rho)}{\partial \omega} = - \frac{C_0^*(\infty; 0) \sigma_{\max} \left[\pi \gamma_1 e^{-\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} \left(\frac{1+\rho}{2} + \frac{\gamma_1^2}{\omega^2} \right) \right]}{(\gamma_1^2 + \omega^2)^2} - \frac{(\gamma_1^2 + \omega^2) - \omega \gamma_1^2 (1-\rho) \left(1 + e^{-\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} \right)}{(\gamma_1^2 + \omega^2)^2} \quad (11)$$

Таким образом

$$P(\omega, \gamma_1, \rho) = \frac{\pi \gamma_1 \left(\frac{1+\rho}{2} + \frac{\gamma_1^2}{\omega^2} \right) - \frac{\omega \gamma_1^2 (1-\rho)}{\omega^2 + \gamma_1^2}}{(1+\rho) \omega^2 \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right) + \gamma_1^2 \left(\rho e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)} \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} + 1 \right) \quad (12)$$

Общим решением уравнения (5) является функция

$$K_g(\omega, \gamma_1, \rho) = C e^{-\int P(\omega, \gamma_1, \rho) d\omega} \quad (13)$$

где постоянная C определяется из условия

$$K_g(\omega_{\min}, \gamma_1, \rho) = 1 \quad (14)$$

Прикладной интерес представляет вид функций $P(\omega, \gamma_1, \rho)$ и $K_g(\omega, \gamma_1, \rho)$ при больших частотах вибрации и мы установим их асимптотическое поведение при $\omega \rightarrow \infty$.

Подставляя разложение

$$e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} = 1 + \frac{\gamma_1 \pi}{\omega} + \frac{\gamma_1^2 \pi^2}{2\omega^2} + \dots + \frac{\gamma_1^n \pi^n}{n!} + \dots \quad (15)$$

в (12), получим

$$P(\omega, \gamma_1, \rho) = - \frac{\pi \gamma_1 \left(\frac{1+\rho}{2} + \frac{\gamma_1^2}{\omega^2} \right) - \frac{\omega \gamma_1^2 (1-\rho)}{\omega^2 + \gamma_1^2}}{\left(\frac{1+\rho}{2} \right) \omega^2 \left(\frac{\gamma_1 \pi}{\omega} + \frac{\gamma_1^2 \pi^2}{2\omega^2} + \dots \right) + \gamma_1^2 \left(\rho - 1 + \frac{\rho \gamma_1 \pi}{\omega} + \frac{\rho \gamma_1^2 \pi^2}{2\omega^2} + \dots \right)} \quad (16)$$

$$P(\omega, \gamma_1, \rho) = - \frac{\frac{\pi \gamma_1 (1+\rho)}{2} \left[1 + \frac{2\gamma_1}{\pi(1+\rho)\omega^2} - \frac{2\gamma_1(1-\rho)}{(1+\rho)\omega \left(1 + \gamma_1^2/\omega^2 \right)} \left(2 + \frac{\gamma_1 \pi}{\omega} + \frac{\gamma_1^2 \pi^2}{2\omega^2} + \dots \right) \right]}{\pi \gamma_1 (1+\rho) \omega \left[1 + \frac{\gamma_1 \pi}{2\omega} + \frac{\gamma_1^2 \pi^2}{6\omega^2} + \dots \right] + \frac{2\gamma_1}{\pi(1+\rho)\omega} \left(\rho - 1 + \frac{\rho \gamma_1 \pi}{\omega} + \frac{\rho \gamma_1^2 \pi^2}{2\omega^2} + \dots \right)} \quad (17)$$

Обозначая выражения, стоящие в квадратных скобках в числителе и знаменателе дроби (17), через $1 + \alpha(\omega, \gamma_1, \rho)$ и $1 + \beta(\omega, \gamma_1, \rho)$ имеем

$$P(\omega, \gamma_1, \rho) = - \frac{1 + \alpha(\omega, \gamma_1, \rho)}{\omega [1 + \beta(\omega, \gamma_1, \rho)]} \quad (18)$$

Поскольку $\lim_{\omega \rightarrow \infty} \alpha(\omega, \gamma_1, \rho) = \lim_{\omega \rightarrow \infty} \beta(\omega, \gamma_1, \rho) = 0$, то,

согласно (18),

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{P(\omega, \gamma_1, \rho)}{\left(-\frac{1}{\omega} \right)} = 1 \quad (19)$$

Итак, при больших частотах колебаний функции

$P(\omega, \gamma_1, \rho)$ и $\varphi(\omega) = -\frac{1}{\omega}$ имеют одинаковое поведение.

Запишем это свойство в виде $P(\omega, \gamma_1, \rho) \sim -\frac{1}{\omega}$. Теперь,

согласно $e^{-\int P(\omega, \gamma_1, \rho) d\omega} \sim e^{\int \frac{d\omega}{\omega}} = e^{\ln \omega} = \omega$ и равенству (19), получим асимптотическое соотношение

$$K_{\theta}(\omega, \gamma_1, \rho) \sim C\omega \quad (20)$$

В экспериментах коэффициент виброползучести определяют при достаточно малых ρ . Из (17) следует, что

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{P(\omega, \gamma_1, 0)}{\left(-\frac{1}{\omega} \right)} = 0 \quad (21)$$

а потому для больших ω имеем соотношение

$$K_{\theta 0}(\omega, \gamma_1) = K_{\theta}(\omega, \gamma_1, 0) \sim C\omega \quad (22)$$

Таким образом, при больших частотах пригружения применима формула

$$K_{\theta 0}(\omega, \gamma_1) = C\omega \quad (23)$$

С целью изучения поведения функции $K_{\theta}(\omega, \gamma_1, \rho)$ при $\omega \rightarrow 0$ представим функцию $P(\omega, \gamma_1, \rho)$ в виде

$$P(\omega, \gamma_1, \rho) = - \frac{\pi \gamma_1 \left(\frac{1+\rho}{2} + \frac{\gamma_1^2}{\omega^2} \right) \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)}{\omega^2 \frac{(1+\rho)}{2} + \gamma_1^2 \left(\rho e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)} - \frac{\omega \gamma_1^2 (1-\rho) \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} + 1 \right)}{\left(\omega^2 + \gamma_1^2 \right) \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)} \cdot \frac{\left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)}{\left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)} \quad (24)$$

Очевидно, что знаменатель дроби (24) при $\omega \rightarrow 0$ сходится к $\rho \gamma_1^2$.

Применяя два раза правило Лопиталя, получим

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{1}{\omega^2} \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right) = \frac{2}{\gamma_1^2 \pi^2} \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{1}{e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}}} = 0 \quad (25)$$

Имеем

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\pi \gamma_1^{\frac{1+\rho}{2}}}{\left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right)} = \frac{1+\rho}{2} \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\omega}{1 + \frac{\gamma_1 \pi}{\omega} + \dots} = 0 \quad (26)$$

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\omega \gamma_1^2 (1-\rho)}{\left(\omega^2 + \gamma_1^2 \right)} = \omega = 1-\rho \quad (27)$$

$$\text{В силу (25) и (26) } \pi \gamma_1^{\frac{1+\rho}{2}} \left(\frac{1+\rho}{2} + \frac{\gamma_1^2}{\omega^2} \right) \left(e^{\frac{\gamma_1 \pi}{\omega}} - 1 \right) \text{ при}$$

$\omega \rightarrow 0$ стремится к нулю быстрее ω^n при любом $n = 1, 2, \dots$

Итак,

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{P(\omega, \gamma_1, \rho)}{\omega} = \frac{1-\rho}{\rho \gamma_1^2} \quad (28)$$

И при малых ω функции $P(\omega, \gamma_1, \rho)$ и $\frac{1-\rho}{\rho \gamma_1^2} \omega$ имеют одинаковое поведение, а потому, согласно (13),

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} K_{\theta}(\omega, \gamma_1, \rho) = C \quad (29)$$

и тем самым

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} C_{\theta}^*(\omega, \gamma_1, \rho) = C C_0^* \quad (30)$$

Учитывая аффинное подобие мер $C_{\theta}^*(\omega, \gamma_1, \rho)$ и C_0^* в соотношении (30), имеем, что $C=1$ и

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} K_{\theta}(\omega, \gamma_1, \rho) = 1 \quad (31)$$

Равенство (31) является обоснованием корректности условия (14).

Сравним наши результаты с экспериментальными данными, приведенными в табл. 3 работы [8], в которой приводятся значения $K_{\theta 0}(\omega, \gamma_1)$ для разных классов бетона В, обычно встречающихся на практике уров-

ней загрузки $\frac{\sigma_{\max}}{Rbn}$ и частот вибрации ω .

Для проверки равенства $K_{\theta 0} = C\omega$ возьмём, например, такую строку этой таблицы

ω	5π	9π	13π
$K_{\theta 0}$	3,73	6,27	9,28

Имеем $3,73 = C_{5л}$, $6,27 = C_{9л}$, $9,28 = C_{13л}$.

В силу этих равенств получим следующие значения константы C :

$$C_1 = \frac{3,73}{5л}, C_2 = \frac{6,27}{9л}, C_3 = \frac{9,28}{13л}.$$

Легко видеть, что эти значения близки друг другу. Для более точного значения можно взять $C = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3}$. Следует отметить, что для каждой строки таблицы получается своя константа C . Это естественно, ибо строки различаются классом бетона

В и уровнями загрузки $\frac{\sigma_{max}}{Rbn}$.

Таким образом, для вычисления коэффициента виброползучести при достаточно больших частотах применима формула

$$K_6(\omega, \gamma_1, \rho) = C(B, \sigma_{max}/Rbn)\omega, \quad (32)$$

где константа $C(B, \sigma_{max}/Rbn)$, зависящая от класса бетона и уровня загрузки, находится экспериментально.

Библиографический список

1. Бондаренко В. М. Диалектика механики железобетона // Бетон и железобетон. — № 3, — 2002.
2. Работнов Ю. Н., Милейко С. Е. Кратковременная ползучесть, М.: Наука, 1970.
3. Гвоздев А. А. Некоторые особенности деформирования бетона и теории ползучести, Сб. Ползучесть строительных материалов и конструкций, М.: Стройиздат, 1964.
4. Рекомендации по учёту ползучести и усадки бетона при расчёте бетонных и железобетонных конструкций. Стройиздат, М., 1988.
5. Шкербелис К. К. О связи между деформациями ползучести бетона и скоростью нагружения, Исслед. по бетону и железобетону, Сб. 3, Изд. АН Латв. ССР, Рига, 1959.
6. Бондаренко В. М., Ларионов Е. А. Виброползучесть бетона, Изв. вузов. Строительство, 2004, №3.
7. Давиденков Н. И. О рассеянии энергии при вибрациях. ЖТФ, ч. VIII. 6, 1938.
8. Бондаренко В. М., Сухарев А. А. Длительная прочность и выносливость бетона конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений, Материалы конференции МИКХиС, ч. I, М., 2003, С. 9-17.

Высокая награда

Решением Ученого совета Американского института бетона (ACI) и Канадского центра по минеральным и энергетическим технологиям (CANMET) в мае 2004 г. заведующему кафедрой «Строительное производство и управление недвижимостью» ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), доктору технических наук, профессору **С.И. Павленко** присуждена международная премия «За многолетние и выдающиеся достижения в области разработки и использо-

вания малоцементных и бescементных шлакобетонов в России».

Диплом и премия презентованы на 8-й CANMET/ACI Международной конференции по использованию летучей золы, силикатного дыма и природных пуццоланов в бетоне (23-29 мая 2004 г., Лас-Вегас, США).

Редакция и редколлегия нашего журнала поздравляют С.И. Павленко, желают ему здоровья и дальнейших творческих успехов.

Актуальная монография

ПУХОНТО Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосы, бункеры, резервуары, водонапорные башни, подпорные стены). — М.: Изд-во АСВ, 2004. — 424 с. с илл.

Значительная часть железобетонных конструкций эксплуатируемых инженерных объектов находится в настоящее время в изношенном состоянии. Подобные сооружения широко используются в современном городском, промышленном, сельскохозяйственном и гидротехническом строительстве.

Высокие затраты на ремонт ставят задачу создания железобетонных конструкций с более гарантированным сроком службы. Одна из важнейших проблем — разработка современных методов прогнозирования долговечности проектируемых элементов и конструкций. Другой существенной и актуальной проблемой является разработка практических методов повышения долговечности железобетонных конструкций инженерных сооружений, находящихся в эксплуатации. В книге отражены оба эти аспекта.

Многоплановая проблема долговечности рассмотрена как совокупность ряда взаимосвязанных проблем: технологичности, надежности, экономичности, а также с учетом экологических требований.

В книгу включены примеры вероятностного расчета долговечности железобетонных конструкций и даны практические приемы ее повышения. Сделан анализ основных деградационных процессов в бетоне и арматуре железобетонных конструкций, проведено исследование статистических параметров эксплуатационных нагрузок инженерных сооружений.

Монография профессора Л.М. Пухонто основана на многолетних научных исследованиях и богатом опыте, очень своевременна и направлена на решение практических и актуальных задач современного понимания долговечности. Она, несомненно, будет с интересом принята широким кругом научных работников и инженеров в области железобетонных конструкций, специалистов по контролю качества строительной продукции, защите окружающей среды и др.

По вопросам приобретения книги обращаться в Издательство АСВ по адресу:

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, офис 704. Тел./факс (095) 183-57-42; e-mail: iasv@mgsu.ru

В.Г.Батраков "Модифицированные бетоны. Теория и практика", 1998, об. 486 стр.

Изд. 2-е, переработанное и дополненное. Обобщены результаты исследований автора в области модифицирования бетонов, рассмотрены теоретические основы модифицирования бетонов и свойства модификаторов, дана их классификация, проанализированы принципы и основные области применения модификаторов. Цена 354 руб.

С.А.Мадатян "Арматура железобетонных конструкций", 2000, об. 256 стр.

В книге рассмотрены классификация, терминология, способы производства и методы испытания обычной и напрягаемой арматуры, Подробно рассмотрены свойства унифицированной свариваемой арматуры класса А500С. Цена 177 руб.

Н.И.Карпенко "Общие модели механики железобетона", 1996, об. 412 стр.

Обобщены построения общих физических соотношений-связей между напряжениями и деформациями или их приращениями, представлены критерии оценки прочности и трещиностойкости бетона при объемных и частных напряженных состояниях. Цена 142 руб.

А.Ф.Милованов "Стойкость железобетонных конструкций при пожаре", 1998, об. 395 стр.

Рассмотрено поведение железобетонных конструкций при стандартном пожаре и после него, проанализировано напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций при кратковременном воздействии огня. Цена 118 руб.

А.Ф.Милованов, В.В.Соломонов, З.М.Ларионова "Высокотемпературный нагрев ж/б перекрытий при аварии на Чернобыльской АЭС", 2000, об. 75 стр.

Рассмотрено поведение железобетонных конструкций во время аварии и после нее, дан анализ аварии и влияния высокотемпературного нагрева и реализации на высокотемпературную эрозию бетона, на изменение физико-механических свойств цемента, заполнителей, бетона и арматуры при нагреве до 1600°. Цена 142 руб.

А.Ф.Милованов, В.В.Соломонов, И.С.Кузнецова, Т.Н.Малкина "Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнесохранности ж/б конструкций", МДС 21-2.2000, об. 92 стр. Цена 450 руб.

В.А.Клевцов, М.Г.Коревицкая "Методические рекомендации по контролю прочности бетона монолитных конструкций ультразвуковым методом способом поверхностного прозвучивания". МДС 62-2.01, 2001. Цена 400 руб.

Монография "Железобетон в XXI веке", коллектив авторов, председатель редколлегии А.И.Звездов. 2001, об. 683 стр. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России. Цена 1200 руб.

Труды 1-й Всероссийской конференции по бетону и железобетону, проходившей 9–14 сентября 2001, **"Бетон на рубеже третьего тысячелетия"** в 3-х томах, об. 1820 стр. В конференции приняли участие специалисты из более чем 30 стран мира. Тематика докладов охватывает все области применения бетона и железобетона в современном строительстве. Цена 1300 руб.

А.И.Звездов, К.В.Михайлов, Г.М.Мартиросов "Виктор Васильевич Михайлов" 100 лет со дня рождения. 2001, об. 111 стр. Посвящена памяти выдающегося инженера и ученого в области технологии и конструирования железобетона. Цена 118 руб.

В.В.Шугаев "Инженерный метод в нелинейной теории предельного равновесия оболочек". 2001, об. 386 стр.

Изложены инженерные методы расчета несущей способности тонкостенных железобетонных оболочек по деформированной схеме, рассмотрены процессы деформирования, приведены примеры расчета несущей способности. Цена 300 руб.

Ю.М.Баженов "Технология бетона". 2002, об. 500 стр.

Учебник, предназначенный для студентов высших учебных заведений строительных вузов, аспирантов, инженерно-технических работников строительной индустрии, имеет целью ознакомить с современной теорией и практикой бетоноведения и технологии бетона. Цена 413 руб.

Евростандарт EN206-1 "Бетон. Общие технические требования", перевод с английского. Цена 1100 руб.

Евростандарт EN 126 "Заполнители для обычного и мелкозернистого бетона", перевод с английского. Цена 900 руб.

В.В.Шугаев "Пространственные конструкции", вып. 9. Цена 177 руб.

С.В.Александровский "Долговечность наружных ограждающих конструкций". Цена 200 руб.

Справки по телефону 174-7665/факс

13 октября 2004 г. на 78 году жизни скончался крупный ученый-теоретик в области строительной механики, теории упругости, пластичности и ползучести строительных материалов и конструкций, доктор технических наук, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, заведующий сектором лаборатории проблем прочности и надежности сооружений ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко **Георгий Александрович Гениев**.

Свою многолетнюю трудовую деятельность он начал в 1948 г. За время работы им выполнен большой объем оригинальных теоретических и экспериментальных исследований по различным вопросам строительной механики и механики деформируемого твердого тела, получены принципиально новые результаты в различных направлениях строительной механики, в том числе в теории железобетонных конструкций.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований Г.А.Гениева нашли широкое применение при проектировании и расчете ответственных гражданских и промышленных сооружений, а также сооружений специального назначения. Он участвовал в проведении проверочных расчетов основания и фундамента Останкинской телевизионной башни в Москве, в разработке моделирования прочности покрытия Большой спортивной арены в Лужниках, работал в составе ко-

миссии РААСН по научному сопровождению работ при восстановлении храма Христа Спасителя.

Г.А.Гениев принимал активное участие в общественно-научной деятельности. В течение многих лет он был членом экспертной комиссии ВАК по строительству и архитектуре, членом ученых советов ЦНИИСК и НИИЖБ, ученого совета Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук, был членом редколлегии журнала "Строительная механика и расчет сооружений", журнала "Основания и фундаменты". Им опубликовано в периодической печати около 250 научных работ, в том числе 9 монографий. Он создал большую научную школу в области строительной механики, теории прочности и пластичности конструкционных материалов. Подготовил 36 кандидатов наук, многие из которых стали докторами наук.

Его научные заслуги оценены различными почетными званиями и наградами.

Ученый вдохновенно работал до последнего дня своей жизни, был полон новых творческих замыслов. Память о Георгии Александровиче Гениеве надолго сохранится в наших сердцах.

**Коллективы
ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко,
НИИЖБ,
Российской академии архитектуры
и строительных наук**

Уважаемые читатели!

Завершается подписка на журнал **"Бетон и железобетон"** на первое полугодие 2005 г. Сведения о подписке содержатся в Объединенном каталоге (он зеленого цвета) "Пресса России" (стр. 127).

Подписной индекс **70050**.

Подписка принимается во всех отделениях связи без ограничений.

Тел. для справок 292-6205, 703-9762.

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

Подписано в печать 26.11.04. Формат 60х88^{1/8}. Печать офсетная. Бумага офсетная № 1
Усл.печ.л. 4.0 Заказ № 1578

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

E-mail: magbeton@rambler.ru
Тел. 292-6205, 703-9762

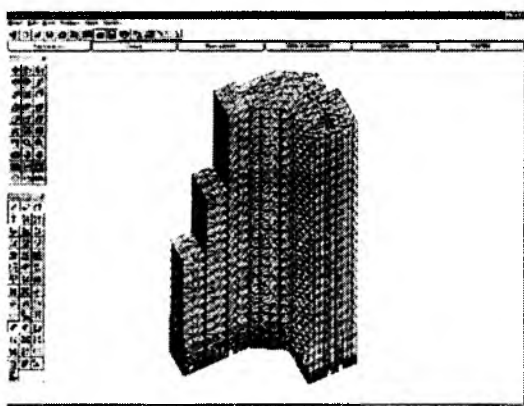
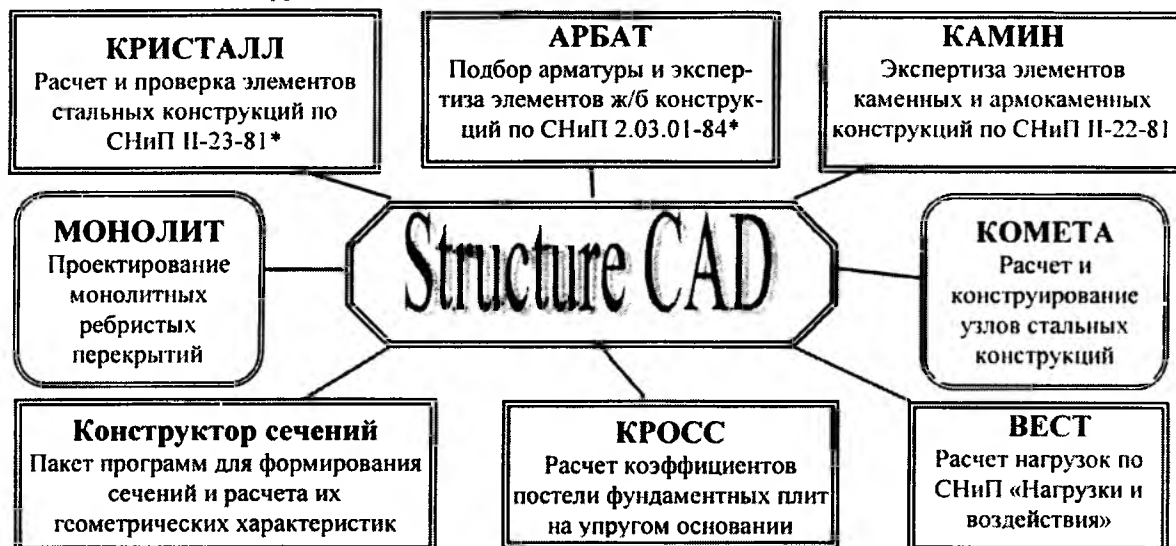
Отпечатано в ОАО Московская типография № 9
109033, Москва, Волочаевская ул., д.40



Комплекс программ SCAD Office -

инструментарий инженера-проектировщика

Вычислительный комплекс SCAD является расчетной системой конечноэлементного анализа конструкций и ориентирован на решение задач проектирования зданий и сооружений достаточно сложной структуры, где основные трудности представляет определение напряженно-деформированного состояния конструкции. Комплекс снабжен модулями анализа прочности и подбора сечений элементов стальных конструкций, а также арматуры в элементах железобетонных конструкций.



Все программы пакета можно подразделить на три группы: проектно-аналитические – КРИСТАЛЛ, АРБАТ и КАМИН; проектно-конструкторские – КОМЕТА и МОНОЛИТ; вспомогательные расчетные программы ВЕСТ, КОНСТРУКТОР СЕЧЕНИЙ, КОНСУЛ, СЕЗАМ, ТОНУС, КРОСС.

В основу разработки проектно-аналитических программ пакета положен принцип ориентации на строгое и, по возможности, полное выполнение требований, представленных в нормах по проектированию конструкций.

Проектно-конструкторские программы служат для разработки конструкторской документации на стадии детальной проработки проектного решения. От настоящих рабочих чертежей это отличается некоторыми непринципиальными деталями.

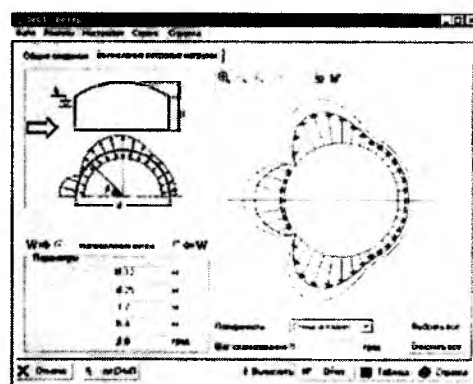
Программа ВЕСТ предназначена для определения нагрузок и воздействий на элементы строительных конструкций.

ВК SCAD, программы КРИСТАЛЛ, АРБАТ, ВЕСТ и КАМИН сертифицированы ГОССТРОЕМ РОССИИ

ВК SCAD аттестован в НТЦ ЯРБ ГОСАТОМНАДЗОРа.

ООО «СКАД СОФТ», (095) 267-40-76

www.scadgroup.com; scad-soft@mtu-net.ru





СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО

СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Лицензия Госстандарта РФ
на изготовление средств
измерений №000110-ИР

Индекс 70050

ИПС-МГ4.01

Измерители прочности бетона методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Приборы оснащены функциями ввода коэффициента совпадения Кс, типа контролируемого изделия и вычисления класса бетона В. Обеспечивается автоматическая обработка и архивирование результатов измерений. Диапазон измерения прочности 3...100 МПа

Объем памяти 500 значений. Возможность занесения 9 индивидуальных зависимостей.

ИПС-МГ4.03

Объем памяти 15000 значений. Возможность занесения 20 индивидуальных зависимостей. Расширенный режим измерения с возможностью выбора вида заполнителя, возраста и условий твердения бетона.

ПОС-30(50)МГ4 «Отрыв»

Измеритель прочности бетона методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690

Оснащены электронным силоизмерителем, индикацией скорости нагружения, автоматической обработкой измерений.

Диапазон: 5...100 МПа
Максимальное усилие анкера:
ПОС-30МГ4 29,4 кН (3000 кгс)
ПОС-50МГ4 49,0 кН (5000 кгс)

ПОС-50МГ4 «Скол»

Измеритель прочности бетона методами скалывания ребра и отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690.

Диапазон:
методом скалывания 10...70 МПа
методом отрыва 5...100 МПа

ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ

ДО-МГ4

Измеритель силы натяжения арматуры методом поперечной оттяжки по ГОСТ 22362.

Диаметр контролируемой арматуры 3...9 мм
Диапазон усилия 200...6000 кгс (1,96...59 кН)

ЗИН-МГ4

Измеритель напряжений в арматуре железобетонных изделий частотным методом по ГОСТ 22362.

Диапазон напряжений 100-1800 МПа в арматуре диаметром 3-32 мм длиной 3-18 м

ПРИБОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

ИТП-МГ4 «100/250»

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

ИТП-МГ4.03 «Поток»

Измеритель плотности тепловых потоков по ГОСТ 25380 трехканальный с режимом самописца (до 15 суток).

Диапазон измерения плотности тепловых потоков 2...500 Вт/м²
Диапазон измерения температуры -30...+100 °C

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

ТГЦ МГ4.01 - измеритель влажности и температуры воздуха с режимом самописца (до 5 суток).

Диапазон измерения плотности тепловых потоков 10...999 Вт/м²
Диапазон измерения температуры -20...+85 °C

ТЦЗ-МГ4.01 - термометр цифровой зондовый. Одно- и двухканальный, с режимом самописца (до 15 суток).
Диапазон измерения температуры -20...+250 °C

МГ4Д - измеритель влажности древесины по ГОСТ 16588. 8 пород древесины.

МГ4Б - измеритель влажности бетона, кирпича, древесины по ГОСТ 16588, 21718. Настройка на 13 видов бетона и кирпича. 8 пород древесины.

МГ4У - универсальная версия с настройками на древесину, бетон и сыпучие материалы.
Диапазон измерения влажности 1...60%

ИПА-МГ4

Измеритель защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры железобетонных конструкций магнитным методом по ГОСТ 22904.

Диапазон измерения защитного слоя 3...100 мм
При диаметре стержней 3...40 мм

Анемометр ИСП-МГ4

Измеритель скорости воздушных потоков и их температуры. Имеет режим самописца (до 24 часов).

Диапазон измерения:
скорости воздушного потока 0,3...30 м/с
температуры -20...+100 °C

Измерители адгезии ПСО-МГ4

Предназначены для определения прочности сцепления защитных и облицовочных покрытий с основанием.

Максимальное усилие отрыва:
ПСО-2.5МГ4 2,45 кН (250 кгс)
ПСО-5МГ4 4,90 кН (500 кгс)
ПСО-10МГ4 9,80 кН (1000 кгс)

Вибротест-МГ4+

Измеритель виброскорости, виброускорения, амплитуды и частоты колебаний виброустановок и др. объектов. Имеет режим самописца (до 25 часов).

Диапазон измерения частоты 2...1000 Гц
Диапазон измерения амплитуды 0,01...20 мм

454084, г. Челябинск, а/я 8538, тел./факс (3512) 90-16-85, 90-16-13,
г. Москва, НИИ ЖБ, Рязанский пр., 61, тел./факс (095) 174-78-01, 174-72-05
e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru, www.stroypribor.ru