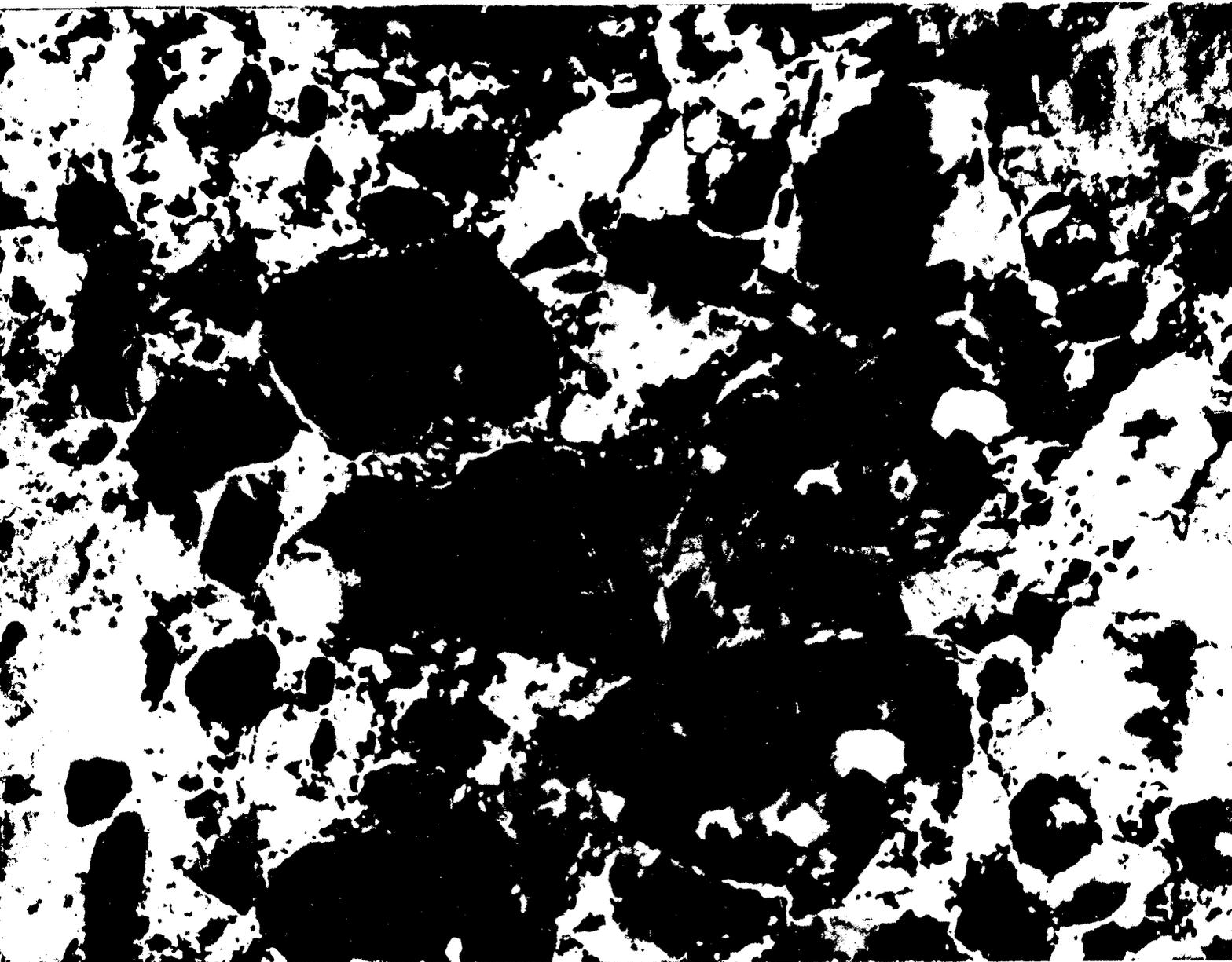


БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

5

от

1994



1994, № 5

ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН
предлагает для внедрения
ВОДОДИСПЕРСНЫЙ ГИДРОФОБИЗУЮЩИЙ
СОСТАВ "ВГС"

Предназначен для поверхностной гидрофобизации поризованных заполнителей и бетонов. Наносится методом распыления, струйного облива или окунания. Допускает последующую отделку, окраску и омоноличивание обработанных поверхностей.

Производится на основе побочных продуктов нефтехимии. Не токсичен, экологически безопасен.

По гидрофобизирующим свойствам приближается к кремнеорганическим жидкостям и эмульсиям типа ГКЖ-94, ФЭС-50, ПМФС, КЭ 30-04. Стоимость в 5—10 раз меньше стоимости КОС. Транспортируется в цистернах и бочках.

**Сравнительные показатели
 водопоглощения материалов (W), мас. %**

Перлитобетон	95—99
Перлитобетон, обработанный ВГС	.6—8
Перлитобетон	3—4
Керамзит	15—20
Керамзит	.1—2
Пенобетон	87—101
Пенобетон	.18—27
Тяжелый	.4—9
Тяжелый	0,3—0,4

**Предлагаем
 техническую
 поставку В**

мощь при внедрении,

ий Г.В.

Учредители:

5 (470)

Издается с апреля 1955 г

ВНИИжелезобетон, НИИЖБ, АК "Полимодр"

Октябрь

20066/15

СОДЕРЖАНИЕ

Матвеев А.В.: Эффективные разработки новаторов Норильска..... 2

Конструкции

Семченков А.С.: Технологичные круглопустотные плиты второго поколения с утолщенными ребрами 5

Бетоны

Чернявский В.Л.: Об адаптации цементного бетона к действию внешней среды 7

Несветаев Г.В.: К определению деформативных свойств бетонов при сжатии 10

Львович К.И.: Проектирование составов песчаных бетонов в зависимости от технологии их изготовления 11

Арматура

Михайлов К.В., Мамедов Т.И., Короткий А.С.: Ускоренное определение релаксационной стойкости высокопрочной проволочной арматуры 14

Заводское производство

Бойко В.Е., Шаленный В.Т.: Модернизация установок вертикального формования домостроительных предприятий 16

В помощь проектировщику

Пирадов К.А., Гузев Е.А.: Подход к оценке напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов через параметры механики разрушения 19

Использование промышленных отходов

Трамбовецкий В.П., Бабаев Ш.Т.: Мировая тенденция использования вторичных продуктов и техногенных отходов в производстве цемента и бетона 23

Теория

Тарабрин Г.Т.: Редуктивная модель процесса растяжения хрупкого материала и вопросы расчета с полной диаграммой нагружения 26

Вопросы экологии

Топильский Г.В., Фролова Л.Н.: О безопасности пленкообразующих составов для ухода за бетоном 28

Информация

Михайлов К.В., Маркаров Н.А.: Конференция Ассоциации "Железобетон" 31

Уважаемые подписчики!

Обращаем Ваше внимание на то, что подписка на наш журнал на первое полугодие 1995 г. будет осуществляться по Каталогу Центрального Агентства зарубежных изданий (ЦАЗИ), а не по Каталогу Роспечати, как было ранее.

Каталог ЦАЗИ имеется во всех отделениях связи.

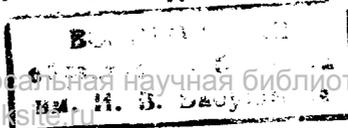
Индекс журнала — прежний (70050)



МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

© Стройиздат, журнал "Бетон и железобетон", 1994



Эффективные разработки новаторов Норильска*

Весомый вклад в творческую копилку отраслевых новаторов Норильска вносят труженики Специального управления строительства НГМК. Основной задачей этого структурного подразделения является строительство. Его коллективы возводят объекты металлургии, стройиндустрии, энергетики, транспорта и связи, сельского и складского хозяйства, социальной инфраструктуры.

Специалистами управления создана технология производства бетонных работ способом пневмобетонирования. При этом по материалному трубопроводу транспортируются во взвешенном состоянии и наносятся с помощью сопла на обрабатываемую поверхность со скоростью 70—90 м/с достаточно пластичные бетонные смеси с мелкозернистым заполнителем.

Преимущества таковы: сохраняется заданное водоцементное отношение, являющееся одним из основных факторов, обеспечивающих требуемые физико-механические характеристики уложенного бетона. При этом его прочность при сжатии составляет 50 МПа; при осевом растяжении — 3 МПа; на растяжение при изгибе — 6 МПа. Начальный модуль упругости при крупности песка $M_{кр} = 2,5$ оказывается в пределах нормы для обычного бетона; усадка — на 20% выше, чем для обычного бетона; водонепроницаемость — В8, В10; морозостойкость — выше, чем у обычного бетона той же марки. Главная ориентация новшества — строительство емкостных сооружений, плавательных бассейнов, тонкостенных перегородок с целью придания им водонепроницаемости.

Предлагается способ бетонирования конструкций с повышенной степенью армирования жесткими жаростойкими смесями. В данном случае защита фундаментов печей типа ПЖВ от воздействия высокой температуры осуществляется путем применения суперпластификатора С-3 (ТУ-6-14-625—80) при бетонировании фунда-

ментов. Расчетное количество водного раствора С-3 (0,7% массы цемента) в переводе на сухое вещество) вводится в бетоносмеситель с водой затворения. Получается смесь с ОК = 14—15 см. Физико-механические свойства жаростойкого бетона сохраняются.

Разработан искусственный материал для внутренней отделки помещений. Изготавливается он из местного сырья и позволяет тем самым отказаться от применения привозных материалов типа "ракушечник". Исходные материалы — цемент и азерит. Использование цветных или серых цементов в смеси с пигментами позволяет получать широкую гамму цветов и оттенков. Этот материал характеризуется небольшой объемной массой (500—600 кг/м³) и обладает теплоизолирующими свойствами.

Предлагается сварочный генератор на базе колесного трактора МТЗ-80. Трактор оборудуется сварочным генератором, который приводится в движение валом отбора мощности через редуктор, позволяющий увеличивать обороты генератора до 3 тыс. в 1 мин. Генератор способен вести сварку и резку металла в режиме тока 16—350 А. Установка легко доставляется в труднодоступные места.

Адрес Специального управления строительства НГМК: 663314 г. Норильск, площадка "Надежда", а/я 2977; тел.: (39152) 6-88-02, 6-87-01.

Активно трудятся в области промышленного и дорожного строительства специалисты Норильского филиала научно-исследовательского института "Гипроникель" в деловом сотрудничестве с институтами "Норильскпроект",

"Проектавтоматика", "Гинцевмет", "Гипрокислород", "Гипрогазоочистка".

Филиалом института "Гипроникель" разработаны проекты межцоховых галерей общего назначения с конструкциями стен, покрытия и перекрытия из сборных железобетонных ребристых плит в стандартной опалубке с уменьшенным армированием и меньшей высотой продольных ребер (рис. 1).

Галереи могут быть использованы в качестве транспортных, пешеходных, для прокладки технологических трубопроводов и токопроводов, в "теплом" и "холодном" исполнении, с применением тяжелого или пористого бетона, глухими или с оконными проемами. Конструкции несложны в изготовлении и удобны в монтаже. Они эксплуатационно надежны, эстетичны на вид, экономичны. Материалоемкость конструкций пролетных строений можно значительно снизить посредством вовлечения смежных продольных ребер плит стен и покрытия в работу пояса комплексной длиномерной железобетонной конструкции.

Для развития сети автодорожного хозяйства разработана конструкция автобусной остановки на два направления движения. Конструкция представляет собой крытый холодный павильон-накопитель, заблокированный с теплыми залами ожидания, и рассчитана на 1 тыс. чел. Строгая симметрия и пластика покатога развернутого козырька фасадной части позволили придать небольшому по объему сооружению торжественную монументальность. Радиальный принцип построения подчеркивает центробежный характер функционирования объекта. Оригинальная блокировка

*Окончание; начало см. в N3 и N4 за 1994 г.

разновысотных объемов обеспечила отличную проветриваемость павильона-накопителя.

Газоходы и воздуховоды практически любого назначения можно устраивать, используя конструкции подземного и надземного газохода-борова и отказавшись от металлических газоходов (рис. 2).

При возведении этих объектов предоставляется широкая возможность для вовлечения в дело местного строительного материала: силикатного и обыкновенного глиняного кирпича, шлакоблоков и др. Данные конструкции футерованы изнутри тепло-химстойким покрытием (торкретазеритобетоном, листовой футеровкой и т.д.). Осуществляется практически взаимонезависимая работа пролетных строений и ограждающих конструкций на статические нагрузки, климатические и технологические температурные воздействия. Открываются большие возможности для подземной прокладки коммуникаций. Обеспечивается их солидная эксплуатационная надежность. Конструкции просты в изготовлении, несложен их монтаж, возможен их локальный ремонт без технологических остановок.

Норильский инженерно-строительный центр (НИСЦ) за три года эволюционировал в Норильский филиал, а ныне в Арктическое отделение Инженерной академии России. Это научно-техническое отраслевое подразделение объединяет около 500 инженеров, активно занимающихся проблемами фундаментостроения, созданием конструкций для Крайнего Севера, технологией и организацией строительства, инженерно-дорожными работами, энергетикой. Сегодня этот коллектив готов к оказанию консалтинговых услуг. Строители-практики с благодарностью отзываются о таких эффективных разработках, как технология зимнего бетонирования монолитных конструкций; проектно-конструкторская документация для строительства в условиях заполярья унифицированной серии жилых домов. По рекомендациям специалистов этого научного коллектива определяются несущие способности комбинированных свай в вечномёрзлых грунтах при действии горизонтальных нагрузок; рассчитываются фундаменты на вечномёрзлых грунтах под машины с дина-

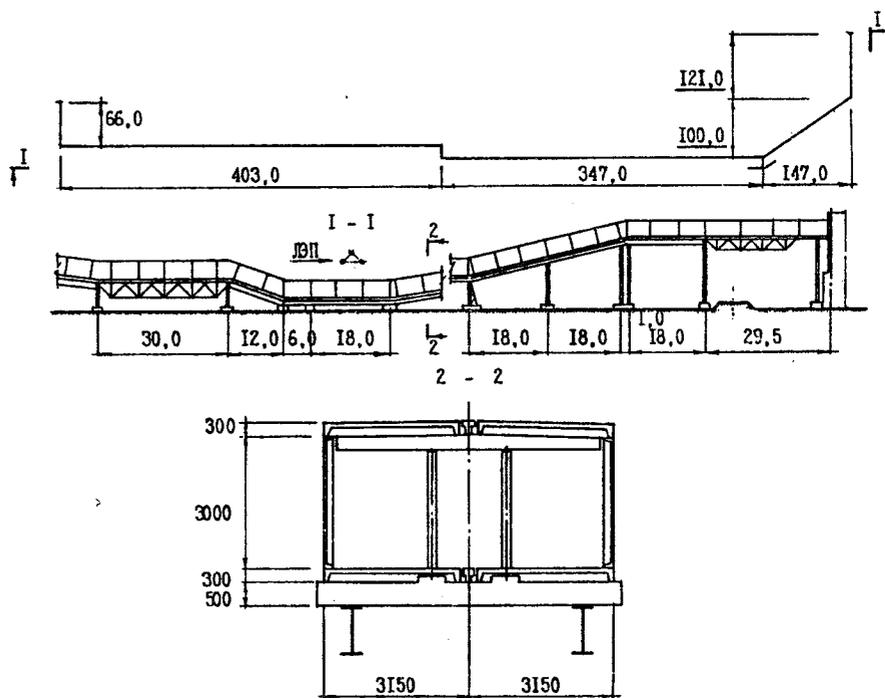


Рис. 1. Междоусовые галереи общего назначения с конструкциями стен, покрытия и перекрытия из сборных железобетонных ребристых плит

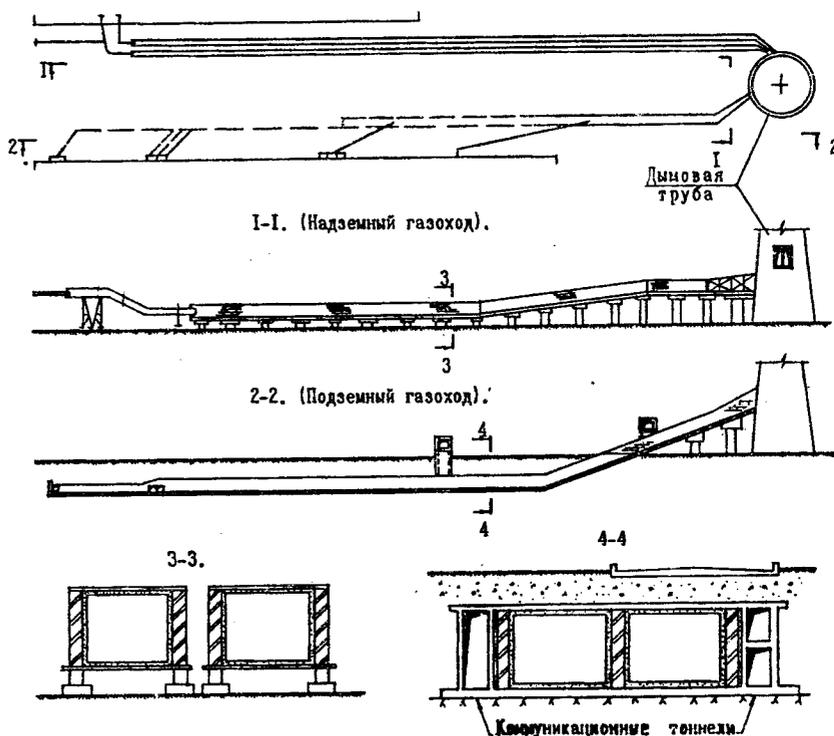


Рис. 2. Примеры трассировки подземных и надземных газоходов

ческими нагрузками; ведется устройство трубобетонных свай в вечномёрзлых грунтах; проводится модернизация зданий серии 112.

В числе приметных разработок этого заполярного филиала Инженерной академии России — рекомендации по про-

ведению полевых испытаний свай в вечномёрзлых грунтах на горизонтальные нагрузки. Рекомендации содержат методику проведения полевых испытаний свай в вечномёрзлых грунтах на статические нагрузки, примеры конструктивных решений установок и оборудования

для испытаний, способы обработки материалов испытаний и методы определения несущей способности свай при действии статических горизонтальных нагрузок по результатам полевых испытаний свай. Цель рекомендаций — оказание практической помощи научным, проектно-изыскательским и строительным организациям, осуществляющим работы в области свайного фундаментостроения на территории распространения вечномерзлых грунтов.

Еще одна большая работа ученых и инженеров Норильска — рекомендации по технологии погружения составных железобетонных свай-стоек через слой вечномерзлого или талого грунта. Рекомендации определяют способ устройства фундаментов из составных железобетонных свай-стоек, погружаемых буроопускным методом через слой вечномерзлого грунта, а далее — забивным способом в талый грунт до упора в скальные или малосжимаемые грунты.

Установка для безбурового погружения опор в мерзлый грунт разработана в виде навесного оборудования на вездеход, что позволяет использовать ее для работы в условиях тундры и бездорожья. Основное ее назначение — погружение в мерзлый грунт стальных труб-опор малонагруженных сооружений (изгороди, основания опор местных линий электропередачи и связи, свайные фундаменты легких зданий и сооружений).

Принцип действия — термомеханическое воздействие погружаемой опоры на мерзлый грунт (нагрев наконечника погружаемой стальной опоры и вибрационная нагрузка). Технические характеристики установки: тип опоры — стальная труба диаметрами 50 и 100 мм с наконечником; наибольшая глубина погружения опоры — 3 м; базовая машина — вездеход ГТТ или ГАЗ-71; мощность для нагрева наконечника опоры — до 2 кВт; мощность для вибрационного воздействия — 0,6 кВт.

Разработаны принципиальные схемы механизмов, конструкции узлов и блоков, позволяющие использовать энергию фазовых переходов воды в лед при низких температурах окружающего воздуха для получения механической работы. Предлагается методика расчета грузоподъемных механизмов,

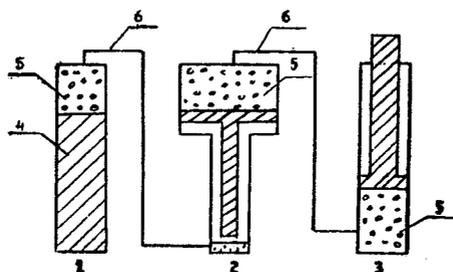


Рис. 3. Схема грузоподъемной установки, использующей энергию фазового перехода системы вода—лед

1 — преобразователь; 2 — трансформатор объема; 3 — рабочий орган (домкрат); 4 — рабочая жидкость; 5 — масло; 6 — металлический маслопровод или гибкий шланг

работающих при следующих параметрах: максимальное давление в преобразователе при температуре выше минус 22°C до 100 МПа и ниже минус 22°C — до 200 МПа.

Один из вариантов схемы грузоподъемной установки, использующей энергию фазового перехода системы вода—лед, приведен на рис. 3. Для этой установки предусмотрены следующие данные: грузоподъемность — 50 кН, высота подъема — 1 м, давление в гидроцилиндре — 10⁷ Па, давление в преобразователе — 5x10⁷ Па. Размеры и формы преобразователей позволяют широко изменять габариты и массу механизмов. Новшество может быть использовано при перемещении и подъеме негабаритных грузов, подъеме опалубок, извлечении обсадных труб и на других операциях.

Адрес Норильского инженерно-строительного центра Арктического отделения Инженер-

ной академии России: 663302 г. Норильск, ул. Комсомольская, 1, тел.: (39152) 4-16-03.

Солидный вклад в развитие базы строительных материалов вносят специалисты Управления геологических работ НГМК. Они осуществляют все виды геологических и сопутствующих им исследовательских работ. В их активе множество разнообразных открытых и разведанных месторождений каменного угля, флюсовых песчаников, туфоаргилитов, базальтов. Богатейшие залежи разнообразных руд, обнаруженных здесь, превосходят по своей ценности аналогичное минеральное сырье месторождений Канады, Австралии и США по качеству и по количеству.

Адрес Управления геологических работ НГМК: 663310, г. Норильск, пл. Гвардейская, 2; тел.: (39152) 6-33-21, 6-36-85.

По всему комплексу вопросов, связанных с деятельностью норильских новаторов в области строительства, контактируйте с инженеринговой фирмой "Тилпэкс", которая готова предоставить в полном объеме информационные услуги в области строительства и технологии, выполнить проектно-конструкторские работы любого профиля, проконсультировать, произвести экспертизу технических решений и проектов, предлагаемых к инвестированию, по адресу: 663310 г. Норильск, Ленинский проспект, 8; тел.: (39152) 6-55-35, 6-43-67, 6-59-75.

А.В. Матвеев
(Норильск—Москва)

Вниманию руководителей предприятий!

Организация "Совпатент" предлагает пресс экструзионный для изготовления асбестоцементных труб и погонажных изделий прямоугольного профиля.

За справками обращаться в "Совпатент" по адресу: 142040, Московская обл., г. Домодедово, Главпота, а/я 7. Контактный телефон в Москве: (095) 174-85-92

УДК 69.025.22

А.С. СЕМЧЕНКОВ, д-р техн.наук (А/О "ИНРЕКОН")

Технологичные круглопустотные плиты второго поколения с утолщенными ребрами

Первые сборные железобетонные узкие плиты типа "Симкар" с двумя круглыми пустотами появились в бывш. СССР в середине 30-х годов [1]. В 50-е годы при строительстве кирпичных, крупноблочных и панельных зданий стали применять более широкие многопустотные плиты высотой 22 см, которые благодаря более простой и надежной технологии изготовления с немедленной распалубкой получили самое широкое применение, вытеснив плиты с овальными, сводчатыми и иными пустотами [1].

В 60-е годы многопустотные плиты вошли в состав каркасно-связевых конструктивных систем серий КМС и ИИ-04 вначале для строительства гражданских, а в дальнейшем и некоторых промышленных зданий (серия 1.020-1/83). В 80-х годах их ввели в состав крупнопанельной серии 1.090.1-1 для строительства общественных и вспомогательных промышленных зданий.

Круглопустотные плиты перекрытий являются весьма материалоемкими элементами зданий, особенно по расходу стали, поэтому их совершенствованию постоянно уделялось большое внимание [2, 3].

В разработке и исследовании многопустотных плит принимали участие институты НИИЖБ, ЦНИИЭП жилища, ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий (А/О ИНРЕКОН), ЦНИИЭП учебных зданий, КБ им. Якушева, ЦНИИПромзданий, МИСИ, Моспроект-1 и др.

Наиболее массовые типовые плиты имеют класс бетона В15, ширину 1,5 и 1,2 м, высоту 22 см, диаметр пустот 159 мм, расстояние в осях пустот 185 мм, толщину средних ребер 26 мм и крайних соответственно 103 и 45,5 мм, при этом процент пустотности составляет 43 и 45%. В плитах пролетом

4,8...9 м используют нижнюю напрягаемую арматуру, в основном стержневую. Кроме того, в опорных участках плит устанавливаются нижние гнутые сетки и каркасы в ребрах, верхняя полка армируется сплошной верхней сеткой, поднимают плиты за четыре монтажные петли. Для изготовления плит рекомендуются жесткие бетонные смеси с размером фракций щебня до 10 мм, который является дефицитным на заводах.

Для исключения "клявистости" (взаимного сдвига плиты) в перекрытиях, опертых по трем и четырем сторонам, или при неравномерных вертикальных нагрузках на боковых гранях плит раньше предусматривали непрерывные шпонки замкнутого сечения с различной конфигурацией [1]. С появлением связевых каркасно-панельных систем зданий, в перекрытиях которых действуют значительные горизонтальные усилия от ветровых нагрузок, на боковых гранях плит вместо непрерывных были сделаны прерывистые цилиндрические шпонки. Эти шпонки стали теперь основными, поскольку одинаково хорошо воспринимают как вертикальные, так и горизонтальные сдвигающие усилия в диске, объединяя отдельные плиты в единую сборно-монолитную составную систему-настил перекрытия, обеспечивая наряду с вертикальными несущими конструкциями пространственную работу здания. Поэтому некачественное омоноличивание межплитных шпоночных сопряжений недопустимо.

Проведенные испытания натурных фрагментов перекрытий подтвердили пространственный характер их деформирования. Испытания проводились на невысоких неравномерных нагрузках и благоприятных простран-

ственных схемах [1, 4] или при толстостенных конструкциях плит [5, 6] с процентом пустотности в два раза меньшим, чем у типовых. При этом отмечалось значительное повышение несущей способности плит и настила. Поэтому на практике сложилось мнение, что неучет совместной работы плит всегда идет в запас прочности [6], и плиты до сих пор рассчитывают и испытывают на действие равномерной нагрузки как отдельно работающие балочные элементы. Но как показали дальнейшие многочисленные исследования, это не так, и типовые сборные пустотные настилы, опертые по двум сторонам, при полосовых загрузках [3, 7], а особенно при опирании по трем или четырем сторонам [1, 5, 7] и равномерном нагружении по всей поверхности часто имеют более низкую трещиностойкость и даже прочность [8], чем отдельные плиты, испытанные по балочной схеме.

Поскольку заранее невозможно предугадать все реальные расчетные схемы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации различных зданий, при проектировании плит в соответствии со СНиП 2.01.07—85. "Нагрузки и воздействия" следует принимать наиболее неблагоприятные схемы.

В А/О "ИНРЕКОН" для перекрытий всех типов зданий получена единая неблагоприятная расчетная схема (сокращенно НПРС) в виде сборного настила шириной не менее пролета плит, свободно опертого по трем сторонам на две жесткие торцевые опоры и одну податливую продольную, и равномерно нагруженного по всей площади вертикальной расчетной нагрузкой [7]. Податливость продольной опоры зависит от конструкции зданий и принимается равной нулю при опирании на стены в панельных зданиях,

а при опирании на ригели, перегородки или примыкании к стене сбоку определяются расчетом.

Максимальные усилия возникают в крайней плите, опертой на три стороны, на которую наряду с нагрузкой дополнительно действуют значительные реакции с соседних плит настила. При этом в плитах в поперечном направлении возникают большие изгибающие и крутящие моменты, не учитываемые при проектировании плит по балочной схеме. Методы расчета прочности, прогибов и трещиностойкости многопустотных плит на указанные воздействия разработаны чрезвычайно слабо и по этой причине не включены в нормативные документы. Это затрудняет определение реакций в настиле между плитами и их напряженно-деформированного состояния при НПС в эксплуатационной стадии после образования различных трещин.

В результате нерационального распределения бетона и арматуры по ширине и длине типовых плит в тонких средних ребрах рано появляются и быстро развиваются двухсторонние продольные трещины, которые в опорных участках плит соединяются с наклонными трещинами в полках и крайних ребрах, образуя сложные пространственные трещины, по которым происходит разрушение. Испытания [8] показали, что типовые плиты опирать по трем сторонам недопустимо из-за малой толщины средних ребер и недостаточного поперечного армирования опорных участков. Возможность их применения в составе пространственно деформирующихся перекрытий при опирании по двум сторонам также требует обоснования в зависимости от нагрузки и пролета плит.

Даже при обычных испытаниях опорных зон на действие поперечной силы в средних ребрах наклонные трещины образуются раньше, чем в более толстых крайних, что весьма затрудняет разработку методов расчета типовых плит по наклонным сечениям. Помимо снижения прочности опорных зон плит на поперечную силу и при пространственной работе, малая толщина средних ребер плит (26 мм) затрудняет укладку бетонной смеси и при размере фракций щебня 20 мм требует двухэтапного бетониро-

вания, является причиной брака из-за некачественной проработки бетонной смеси в ребрах и плохой поверхности плит. Кроме того, малая толщина ребер даже при работе по балочной схеме не позволяет отказаться от опорных каркасов в ребрах плит на массовом диапазоне нагрузок и пролетов и от сеток в верхней полке, снижает предел огнестойкости ребер плит и прочность верхнего свода пустот, а также уменьшает длину и надежность анкеровки монтажных петель.

За рубежом толщина средних ребер многопустотных плит обычно принимается 40—50 мм [1, 3, 7], прочность бетона соответствует классу В30 и выше. Благодаря этому и значительно меньшим нагрузкам плиты армируются только продольными напрягаемыми канатами из высокопрочной проволоки, а сетки, каркасы и монтажные петли отсутствуют. Поэтому расход стали в них в два и более раза ниже, чем в отечественных плитах.

Проведенные в последние годы исследования позволили разработать технологичные круглопустотные плиты оптимального сечения, в которых за счет усиления армирования верхних опорных сеток в зоне максимальных крутящих моментов и увеличения толщины средних ребер до 38...41 мм (благодаря раздвижке пустотообразователей или уменьшению их диаметра) удалось отказаться от опорных каркасов, верхних сеток в пролете плит и уменьшить вес монтажных петель при том же классе бетона В15. Это дает возможность уменьшить расход арматуры в наиболее массовых плитах пролетом 5,65...6,3 м под нагрузку 8 кПа в среднем до 8 кг на 1 м³ бетона, а в связевых до 16 кг/м³ благодаря обрыву верхних стержней арматурных каркасов ввиду их лучшей анкеровки в толстых ребрах.

Хотя в плитах шириной 1,2 м расход бетона возрос на 13%, но при этом уменьшился расход стали, снизилось время формования, количество трудоемкой и энергоемкой сварки и дорогостоящего сварочного оборудования, повысилось качество изготовления, снизился процент брака, увеличилась прочность при действии поперечной силы и крутящих моментов.

Последнее обстоятельство

позволяет за счет повышения прочности и жесткости настилов, опертых по трем и четырем сторонам, получить дополнительно снижение расхода рабочей арматуры до 1,5...2 раз в результате совместной работы плит или отказаться от натяжения арматуры. В этом случае при опирании по четырем сторонам настила размером 6х6 м вместо типовых плит по серии 1.141-1 под нагрузку 8 кПа можно установить технологичные плиты под 4,5 кПа с усиленными опорными зонами, и суммарное снижение расхода стали при ширине плит 1,5 или 1,2 м составит в среднем около 17 кг/м³ бетона. При опирании по трем сторонам прочность настила возрастает только на 20%, что позволяет применить оптимальные плиты под нагрузку 6 кПа и уменьшить расход стали на 13 кг/м³. Однако в таких перекрытиях должна быть гарантирована прочность плит, опертых по трем сторонам, и омоноличены шпоночные межплитные сопряжения.

Поскольку последнее требование является обязательным для любых сборных перекрытий, то и в каркасных зданиях серии 1.020-1/83, где настилы обычно оперты по двум сторонам, может быть получен дополнительный эффект за счет снижения эквивалентных нагрузок благодаря увеличению грузовой площади рассчитываемого настила по сравнению с отдельной плитой (см. п. 3.8 СНиП 2.01.07—85. "Нагрузки и воздействия"). Однако даже без учета этого фактора, а только за счет замены типовых рядовых и связевых плит на технологичные плиты оптимального сечения снижение расхода стали на полосу настила из трех ячеек 6х6 м составляет около 180 кг, или 13 кг/м³ бетона изделия.

При существующей в настоящее время стоимости 1 кг арматурной стали с учетом ее переработки и прочих заводских расходов 500 руб. экономический эффект от внедрения даже только 1 млн м³ плит шириной 1,5 м составит 4—6,5 млрд.руб. при снижении расхода стали на 8—13 кг/м³. Внедрение технологичных плит шириной 1,2 м не дает заметного эффекта в стоимостном выражении ввиду увеличения расхода бетона. Однако при этом достигаются отмеченные выше важные преимущества.

ВЫВОДЫ

1. Плиты в составе сборных перекрытий благодаря шпоночным сопряжениям объединены в единый сборно-монолитный пространственно деформирующийся настил перекрытия. Поэтому в действительности плиты работают не в одном, а в двух направлениях в плане, и неучет этого обстоятельства при расчете и испытании, с одной стороны, снижает трещиностойкость и прочность плит, а с другой, — не позволяет вскрыть имеющиеся резервы.

2. Для проверки прочности плит в поперечном направлении разработана неблагоприятная пространственная расчетная схема. Проведенные с ее учетом испытания выявили недостаточную прочность типовых плит в поперечном направлении из-за недостаточной толщины средних ребер (26 мм) и поперечного армирования в опорных зонах.

3. Разработанные новые конструкции плит с утолщенными ребрами являются значительно более технологичными в изготовлении и дают существенную экономию стали без снижения прочности плит.

4. При обеспечении прочности плит в поперечном направлении можно дополнительно снизить расход продольной рабочей арматуры или отказаться от ее преднапряжения, особенно в настилах, опертых по трем и четырем сторонам, за счет их пространственной работы.

Библиографический список

1. Семченков А.С. Совершенствование конструктивных решений настилов перекрытий общественных зданий. Обзорная информация /ЦНТИ, 1984. — 60 с.

2. Мусаян Б.А. Влияние величины пустотности на прогиб изгибаемых предварительно напряженных железобетонных элементов //Жилищное строительство. — 1967. — №1—6. — С. 20—23.

3. Крамарь В.Г. Предварительно напряженные железобетонные многупустотные конструкции перекрытий зданий. Обзорная информация /ВНИИ-ИС. — М., 1984. — 86 с.

4. Левин С.Е., Дмитриев С.В. Пустотные балки-настилы с предварительно напряженной арматурой //Исследование обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций. — М.: ЦНИИПС, 1949.

5. Айвазов Р.Л. Сборное панельное перекрытие, опертые по контуру //Пространственная работа железобетонных конструкций. — М.: МИСИ. — 1971. — Вып. 90.

6. Калманок А.С. К расчету сборных железобетонных перекрытий на местную нагрузку //Бетон и железобетон. — 1959. — №7.

7. Семченков А.С., Алексеев С.В., Карнет Ю.Н. Пространственная работа многупустотных плит безопалубочного формования //Бетон и железобетон. — 1987. — №7. — С. 8—11.

8. Семченков А.С., Залесов А.С., Алексеев О.В. Действительная работа многупустотных плит перекрытия в составе здания //Бетон и железобетон. — 1993. — №4. — С. 2—3.

БЕТОНЫ

УДК 691.32:620.193

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

Об адаптации цементного бетона к действию внешней среды

Многолетние исследования показывают, что для цементного бетона, как никакого другого строительного материала, применимо понятие адаптационной изменчивости, связанной с приспособлением его структуры и функций к условиям внешней среды. Механизм приспособления бетона связан прежде всего с включением в действие его внутренних резервов (реликтовых зерен вяжущего) с целью поддержания некоторого уровня технического состояния [1].

Наличие приспособляемости различных технических объектов к внешним воздействиям в строительных дисциплинах не является новым. Общеизвестно существование релаксации напряжений в бетоне при постоянной деформации; поддержа-

ние сопротивляемости бетона в процессе многократного динамического нагружения при напряжениях, меньших предела выносливости; перераспределение нормальных напряжений между компонентами бетона в соответствии с их модулем упругости. В строительной механике и теории упругости имеется раздел о приспособляемости железобетонных конструкций к упругому сопротивлению за счет возникновения ограниченных пластических деформаций, необходимых для формирования остаточных напряжений, например, в результате приложения и снятия квазистатической нагрузки. Идеи приспособляемости широко используются при решении практических задач проектирования строительных конструк-

ций путем регулирования напряжений и перемещений в конструкции выбором или изменением расчетной схемы, варьированием жесткости элементов, предварительным напряжением, способами передачи нагрузки, порядком монтажа сборных сооружений.

Приспособляемость цементного бетона к действию среды неоднократно была предметом практического интереса и научных дискуссий в строительном материаловедении. Примерами этого могут служить самоуплотнение в водной и газообразной (в том числе в коррозионно активных) средах, самоупрочнение при умеренных термических, особенно циклических воздействиях, повышение трещиностойкости и снижение не-

обратимой. части усадки при раннем силовом и коррозионном нагружении, стабилизация (после некоторого спада) прочностных и деформативных свойств при действии высоких температур, а также длительного насыщения маслами и эмульсиями.

Эти примеры позволяют предположить, что бетон, пребывающий в определенных условиях среды, приобретает признаки, удовлетворительные для этих условий. Длительное сохранение (после изменения) на некотором уровне прочностных и деформативных свойств бетона может происходить при двух допущениях: во-первых, и прежде всего, когда действие среды не вызывает катастрофического разрушения материала, и, во-вторых, когда параметры среды достаточно длительное время остаются практически неизменными.

Применительно к цементному бетону определим понятие "структурно-функциональной адаптации". Она представляет собой совокупность химических реакций и физико-химических процессов, лежащих в основе его (бетона) приспособления к изменению окружающих условий, и направлена на удержание существенных переменных внутреннего состояния в некоторых пределах и удовлетворительного спектра функциональных свойств. В общем случае адаптация системы — это путь достижения физико-химической целесообразности ее структуры и технического поведения.

Применительно к цементному бетону следует различать существенное, связанное с потребительскими свойствами (прочность, деформативность, стойкость), и второстепенное, связанное с морфологическими характеристиками новообразований в цементном камне. Изменения, происходящие в цементном бетоне в процессе структурно-функциональной адаптации, касаются всех уровней: от кристаллизационно-агрегатного до целостного. Большое значение в формировании адаптационной активности бетона имеет его физико-химическая восприимчивость, зависящая в основном от наличия клинкерного фонда и исходного структурно-функционального состояния [2]. Естественно, адаптационные возможности цементного бетона не беспредельны и существенно зависят от условий эксплуатационной среды.

В реальной обстановке функционирование цементного бетона происходит при непрерывных изменениях как внутри материала, так и вне его. Процессы в бетоне, которые приводят к изменению его состояния, происходят при соблюдении трех условий: изменения окружающей среды, изменения внутренних параметров и режима функционирования материала в конструкции. При этом в системе происходят изменения, направленные прежде всего на сохранение неравновесного состояния [1], т.е. система цементного материала адаптируется, приспособляемость к изменившимся ("новым") условиям эксплуатации.

Блок-схема структурно-функциональной адаптации бетона (рис. 1) достаточно наглядно иллюстрирует последовательность событий в системе "бетон—среда". Комментариев требует лишь "второй этаж" схемы. Адекватными следует считать такие условия внешней среды, которые полностью соответствуют структурным свойствам цементного бетона, т.е. компоненты его продолжают оставаться в этих условиях неустойчивыми. Неадекватные условия вызывают частичную потерю их устойчивости. В реальной эксплуатационной обстановке установить строгую границу между адекватными и неадекватными условиями среды затруднительно, хотя экспериментально это возможно. Очевидно, наличие левой и правой частей схемы достаточно четко подтверждает существование такой границы.

Эскизно проиллюстрируем структурно-функциональную адаптацию цементного бетона как открытой системы (рис. 2). Реакция такой системы на изменения среды может быть представлена как группа процессов, в результате чего система с начальным состоянием \bar{S}_0 переходит в новое — состояние адаптивности (\bar{S}_{Ai}): с полной адаптацией ($\bar{S}_{A1} \geq \bar{S}_0$) или с неполной адаптацией ($\bar{S}_0 > \bar{S}_{A2} > \bar{S}_{пр}$). Целью адаптации в первом случае является поддержание "нормального" состояния в адекватных условиях, а во втором — появление "ненормального" состояния в неадекватных условиях среды. Обоим случаям соответствуют несущественные изменения условий существования и существенные (резкие) изменения таковых. В результате внешних воздействий, характеризующихся параметрами \bar{V}_{A1} и \bar{V}_{A2} соответ-

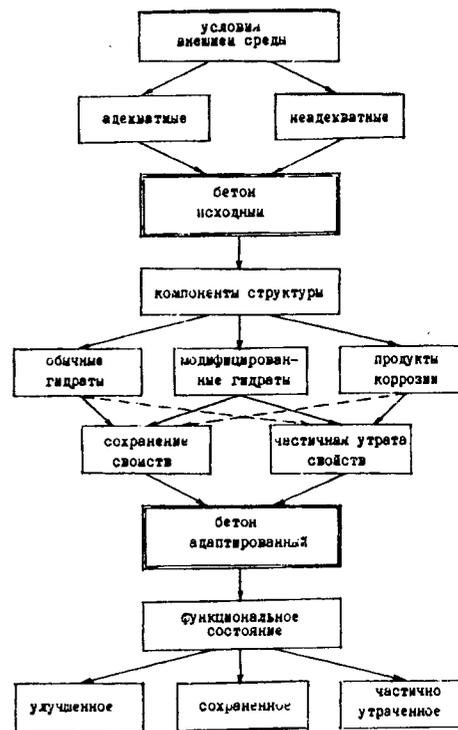


Рис. 1. Блок-схема структурно-функциональной адаптации бетона

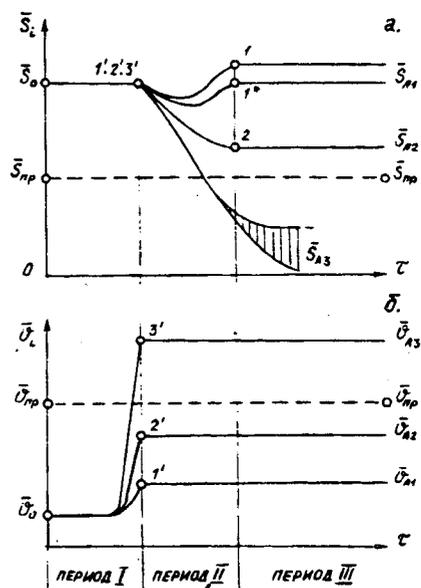


Рис. 2. Эскизная схема адаптации цементного бетона

а — изменение внутреннего состояния; б — изменение внешней среды

ственно, система проходит от исходного состояния (период I) через состояние в период адаптации (период II) к состоянию адаптированности (период III). При этом сохраняется первоначальный или устанавливается новый уровень сопротивляемости системы внешним воздействиям. В случае неполной адаптации приспособи-

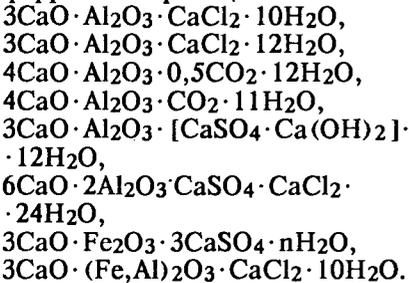
8051

тельные возможности системы уменьшаются. Если система в результате "новых" внешних воздействий выходит за уровень предельных адаптационных возможностей, то ее внутренняя структура будет постоянно изменять (ухудшать) параметры состояния по траектории ($S_{АЗ} < S_{пр}$), и в конце концов система перестанет функционировать. Целесообразно ввести понятие "диапазон адаптивности" ($S_0...S_{пр}$), который зависит от "силы" механизма приспособления системы [3].

Подтверждением существования адаптационной эволюции цементного камня в бетоне служит известный факт образования в его структуре под действием среды так называемых "модифицированных гидратов" [2], характеризующихся большей, по сравнению с традиционными гидратами, устойчивостью. При этом происходит внедрение "посторонних" ионов в структуру кристаллогидратов, а подобные процессы связаны с изменением кристаллохимических характеристик и морфологических свойств гидратных образований.

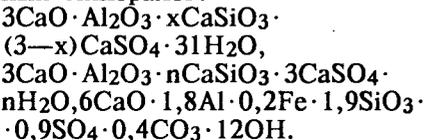
Приведенные далее сведения почерпнуты из основных за последние сорок лет публикаций, касающихся гидратов цементного камня, модифицированных сульфат-, карбонат- и хлорид-ионами, свойственных внешней среде.

Первая группа включает гидраты алюминатных и алюмоферритных фаз цемента:



Вторая группа включает гидраты силикатных фаз цемента: $7CaO \cdot 6SiO_2 \cdot CO_2 \cdot 2H_2O$, "CSH-гель" с адсорбированным SO_4^{2-} , "CSH-гель" с замещенным OH^- на Cl^- , $3Ca(OH)_2 \cdot CaCl_2 \cdot 11H_2O$, $CaO \cdot SiO_2 \cdot CaSO_4 \cdot CaCO_3 \cdot 14H_2O$.

Третья группа состоит из смешанных гидратов клинкерных минералов:



Следует подчеркнуть неодолеваемую роль так называемых

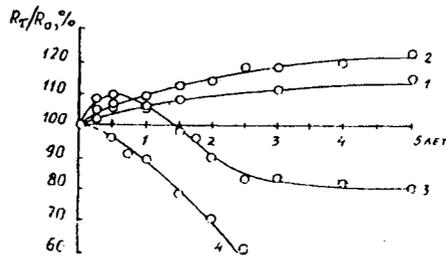


Рис. 3. Изменение прочности бетона в условиях действия водопроводной воды (1), водных растворов, содержащих ионы SO_4^{2-} (мг/л) — 500 (2), — 1200 (3), — 10 000 (4)

ых "продуктов коррозии" (гипса, карбоната и гидросульфата алюминатов кальция), которые особенно в начальный период эксплуатации оказавшись в порах, трещинах и иных дефектах структуры бетона в значительной степени повышают его прочность, а главное снижают проницаемость. Существует много примеров довольно успешных попыток использовать этот "позитивный эффект коррозии" для повышения противокоррозионных свойств бетона. При этом необходимо особо отметить высокую устойчивость продуктов коррозии в среде их образования.

Таким образом, важным является образование в цементном бетоне гидратных фаз с модифицированной под влиянием внешней среды структурой. Эти фазы отличаются большей стабильностью по сравнению с первичными гидратами, как менее приспособленными к условиям эксплуатации строительных конструкций. Если при этом соблюдать неизменность либо несущественную изменимость внешней среды, то будет обеспечена соответствующая устойчивость модифицированных кристаллогидратов, т.е. может оказаться благоприятной ситуация, когда условия образования структуры материала и условия его существования идентичны [4].

Адаптационные возможности цементного бетона практически не принимали во внимание (либо учитывали на интуитивном уровне) при составлении нормативных документов по защите бетона от коррозии (СНиП 2.03.11—85). Очевидное стремление к ускоренному определению коррозионной стойкости бетона различного состава и свойства за счет повышения концентрации в водной среде так называемых "агрессивных ионов" при лабораторных испы-

таниях удаляло исследователей от решения задачи по оценке коррозионных процессов в реальной эксплуатационной обстановке, характеризующейся низкой (до 1000 мг/л) концентрацией ионов SO_4^{2-} в воде-среде.

Иллюстрацией сказанного могут служить результаты проведенных нами испытаний образцов бетона марки W4 на водонепроницаемость W40 на никелевском марке M400 цемента, содержащем в %: C_3S — 54, C_2S — 20, C_3A — 9, C_4AF — 12 (рис. 3). Фазовый рентгеновский и оптико-микроскопический анализы показали несущественность увеличения после 2...3 лет испытаний в цементном камне бетона количества продуктов сульфатной коррозии (условия, соответствующие кривым 2, 3) на фоне продолжающейся гидратации клинкерных остатков. Видно, что существует некоторый граничный интервал концентраций ионов SO_4^{2-} , позволяющий практически использовать адаптационные возможности бетона как первичной защиты без серьезных опасений за долговечность строительных конструкций.

Ранее [5] нами отмечалась положительная роль (в смысле уменьшения и последующей фиксации прочностных свойств цементного бетона) кальцита и гипса как продуктов коррозии, образовавшихся и, естественно, устойчивых в защитном слое конструкции вентиляционного тоннеля цеха прокатки металлургического завода. Дополнительно к этому приведем еще один пример адаптации цементно-песчаного кладочного раствора бутобетонного фундамента здания цеха сероочистки коксохимического завода, построенного в 1937 г. и дважды обследованного (последний раз с нашим участием в 1994 г.). Длительное замачивание раствором тиосульфата натрия привело к практически полному превращению цементного камня в гипс с включениями агрегатов кремниевой кислоты. При этом прочность кладочного раствора зафиксировалась на уровне 15...20 кг/см², а водная вытяжка из него имела значение pH = 7,6...9,2. В результате расчета несущей способности указанная прочность оказалась достаточной для призвания фундамента в ограниченно рабочем состоянии при условии неизменности действующей на них внешней среды.

Накапливаемый в Харьковском ПромстройНИИпроекте опыт исследования бетона строительных конструкций, подвергавшихся длительному (до 60 лет) воздействию грунтовых и технических вод, содержащих сульфат-, бикарбонат- и хлорид-ионы, а также лабораторных образцов, изготовленных на шести разновидностях портландского и шлакопортландского цемента (C_3S — 41...67%, C_2S — 15...36%, C_3A — 4...9%, $C_xA_yF_z$ — 10...15%), испытывавших постоянное и периодическое воздействие увлажнения и нагрева (до 90°C) в течение 15...19 лет, показал, что в цементном камне разрушенного бетона присутствует 15...30% реликтовых зерен вяжущего. Заметим, что в начале эксплуатации их количество колеблется в пределах 40...60% [6]. Характерно, что на стадии исчерпания бетоном свойств первичной защиты [7] количество реликтовых зерен в цементном камне бетона конструкций из сборного железобетона примерно в 1,5 раза больше, чем выполненных

в монолитном варианте. Это свидетельствует о том, что значительная часть реликтового фонда в результате тепловой обработки (особенно при так называемых "жестких режимах") становится не способной к дальнейшему гидратационному структурообразованию и не может восприниматься как источник созидательных процессов [1, 2], компенсирующих коррозионное разрушение бетона.

Настоящим сообщением делается очередная попытка привлечь внимание исследователей и практиков-строителей к проблеме контролируемого изменения свойств бетона на стадии эксплуатации за счет использования его внутренних резервов. Результатом работ в этой области будет разумное допущение в бетоне процессов коррозии, что выразится, например, в пересмотре пороговых значений концентраций агрессивных агентов в действующих на строительные конструкции природных и техногенных растворах, особенно для слабой и средней степени агрессивного воздействия.

Библиографический список

1. Чернявский В.Л. Энтропийный режим и функциональное состояние цементных материалов // Известия вузов. Строительство. — 1992. — №7—8. — С. 61...65.
2. Чернявский В.Л. О сопротивляемости цементного бетона действию внешней среды // Известия вузов. Строительство и архитектура. — 1991. — №3. — С. 56...60.
3. Граве П.С. Об адаптации в живых системах // Адаптивные системы, 1. — Рига: Зинатне, 1972. — С. 113...125.
4. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. — М.: Госгеолтехиздат. 1958. — 461 с.
5. Мчедлов-Петросян О.П., Ольгинский А.Г., Чернявский В.Л. О влиянии кислой сульфатсодержащей среды и повышенной температуры на физико-химические свойства цементных материалов // Известия вузов. Химия и химическая технология. — 1972. — Т. XV, вып. 4. — С. 588...591.
6. Чернявский В.Л. Повышение антикоррозионных свойств бетона. — Киев: Будівельник, 1983. — 88 с.
7. Дубницкий В.Ю., Чернявский В.Л. Прогнозирование стойкости бетона при сложных агрессивных воздействиях на основе величины оценки коррозионного состояния // Известия вузов. Строительство и архитектура. — 1990. №1. — С. 122...125.

УДК 691.327:624.044

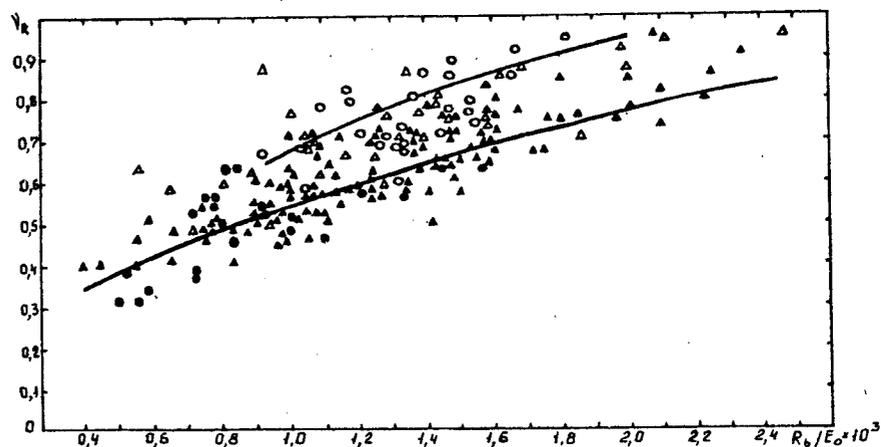
Г.В. НЕСВЕТАЕВ, канд.техн.наук, (РГАС)

К определению деформативных свойств бетона при сжатии

Совершенствование методов расчета железобетонных конструкций требует достоверных данных о деформативных свойствах бетона. Для описания диаграмм деформирования бетона используются, в частности, коэффициент упругости ν_R и относительная деформация ϵ_R при уровне нагружения, соответствующем пределу кратковременной прочности бетона R_b . Многочисленные аналитические зависимости для выражения значения ϵ_R через нормируемые характеристики бетона противоречивы либо имеют ограниченное применение [1]. Представление зависимости ν_R от R_b также приводит к ограниченности ее применения [2].

Получена эмпирическая зависимость коэффициента упру-

гости бетона ν_R в вершине диаграммы " $\sigma - \epsilon$ " от нормируемых параметров бетона R_b и E_0 [3]



Зависимость коэффициента упругости бетона от нормируемых параметров R_b , E_0
 ● — тяжелый бетон, данные автора; ▲ — тяжелый бетон, по литературным данным;
 ○ — керамзитобетон, данные автора; △ — бетон на пористых заполнителях, по литературным данным

$$\nu_R = a \sqrt{R_b/E_0}. \quad (1)$$

Зависимость выведена в результате обработки 126 экспериментальных значений при изменении призмной прочности тяжелого бетона в диапазоне 14,5—135,6 МПа, полученных автором и заимствованных из 15 опубликованных работ других исследователей. Значение коэффициента a составляет 16,9 при относительном среднеквадратическом отклонении $S_T/\bar{\nu}_R = 12,8\%$.

Для бетонов на пористых заполнителях в результате обработки 40 экспериментальных значений при изменении призмной прочности в диапазоне

17,5—55 МПа определены соответственно значения $a = 21,3$ и $S_T/\bar{\nu}_R = 11,6\%$. Графически зависимость $\nu_R = f(R_b/E_0)$ для различных бетонов представлена на рисунке.

Поскольку $R_b = E_0 \nu_R \epsilon_R$, величина относительной деформации ϵ_R в вершине диаграммы " $\sigma - \epsilon$ " может быть определена по формуле:

$$\epsilon_R = (1/a) \sqrt{R_b/E_0} \quad (2).$$

Сравнение многочисленных аналитических зависимостей для определения величины ϵ_R с предложенной формулой (2) показало преимущество предлагаемой формулы для оп-

ределения параметра ϵ_R в широком диапазоне изменения призмной прочности различных бетонов [1].

Библиографический список

1. Несветаев Г.В. Сравнительная оценка формул для определения предельной сжимаемости бетона. — Деп. ВИНТИ №2828—В93 от 15.11.93. — 11 с.
2. Ганага П.Н. Использование метода секущих модулей для описания и прогнозирования деформативных свойств бетонов // Совершенствование методов расчета железобетона. — Ростов н/Д: РИСИ, 1988. — С. 157—163.
3. Несветаев Г.В. Коэффициент упругости и морозостойкости бетона. — Деп. ВИНТИ №601—В94 от 14.03.94. — 21 с.

удк 691.327:666.973.2

К.И. ЛЬВОВИЧ, канд.техн.наук (МНИПТИ "Стройиндустрия")

Проектирование составов песчаных бетонов в зависимости от технологии их изготовления

В последние годы в промышленности сборного железобетона быстро расширяется применение песчаного бетона. Это в первую очередь связано с увеличивающимся дефицитом щебня в ряде промышленно развитых районов страны, с трудностями его доставки, высокой стоимостью. Названные факторы обуславливают существенную, но не единственную причину, вызывающую повышенный интерес к песчаному бетону. Целью ряд достоинств делает этот материал более рациональным для применения, чем равнопрочный крупнозернистый бетон: повышенная способность воспринимать растягивающие напряжения, более высокая призмная прочность, повышенная морозостойкость и водонепроницаемость, лучший товарный вид и др.

Расширение области применения песчаного бетона связано также с разработкой ряда новых технологий, использующих эффективные методы подготовки вяжущего, перемешивания и уплотнения особо жестких цементно-песчаных смесей. Свойства песчаных бетонов, изготавливаемых по разным технологиям, в том числе их прочностные и деформативные характеристики, в значительной степени

разнятся. Указанное положение существует и в крупнозернистом бетоне [1], но для песчаного бетона оно усугубляется широким диапазоном удобоукладываемости используемых смесей — от ОК = 2—4 см до смесей, жесткость которых превышает 120 с по ГОСТ 10181—76 и практически не может быть оценена стандартными методами ее измерения.

Значительные отличия в свойствах песчаных бетонов, изготовленных по разным технологиям, необходимо учесть при разработке способа подбора их составов. Другой особенностью, существенно усложняющей подбор состава песчаного бетона, является достаточно широкая возможность использовать для изготовления конструкций тощих песчаных бетонов — бетоны с неполным заполнением цементным тестом межзернового пространства песка. Использование тощих песчаных бетонов позволяет расширить область применения материала, уменьшить расход цемента и тем самым снять наиболее серьезное препятствие на пути расширения области применения материала.

Несмотря на достаточно большое количество существующих способов подбора состава

песчаного бетона в настоящее время нет общепризнанного универсального способа. Даже в наиболее полно разработанных способах [2, 3] предлагается учитывать лишь некоторые из указанных факторов. В целом эти способы, а также способ, приведенный в СН 488—76, позволяют получить достоверные результаты только для подвижных и малоподвижных бетонных смесей, коэффициент уплотнения которых близок к 0,97.

Для ряда конструкций, к которым предъявляются требования высокой морозостойкости, коррозионной стойкости, водонепроницаемости, величина коэффициента уплотнения действительно должна быть регламентирована и составлять $K_{упл} > 0,97$ (дорожные изделия, напорные трубы и др.). Для других (блоки стен подвалов, внутренние стены, настилы перекрытий) такое требование не является обязательным: возможно использовать бетоны с $K_{упл} = 0,91$ (практика подбора составов песчаных бетонов показывает, что при $K_{упл} < 0,90—0,91$ наблюдается резкое падение прочности материала).

По результатам собственных опытов, а также путем обработ-

ки большого числа исследований отечественных и зарубежных авторов (свыше 200 работ), проведенной методом планирования эксперимента, предлагается классифицировать песчаные бетоны [4] — разделить их на изготавливаемые:

а по технологии "А" (особо и сверхжесткие смеси, с жесткостью свыше 120 с), включающей:

а — специальные методы подготовки вяжущего (домол цемента, совместный помол цемента с песком);

б — специальные методы перемешивания (в вибросмесителях, струйных смесителях и др.);

в — методы интенсивного уплотнения (виброштампование, вибропрессование, полусухое прессование, роликотформование и т.д.);

по технологии "Б" (жесткие и особо жесткие смеси от 40 с), использующей методы интенсивного уплотнения цементно-песчаных смесей;

по технологии "В" (мало подвижные смеси от ОК = 2 — 4 см до 20 с, уплотняемые на стандартных и специальных виброплощадках).

Предлагаемая классификация, на базе которой разработан приведенный далее способ определения состава песчаного бетона, позволяет учесть основные особенности материала и технологии его изготовления (а.с. N1837056).

Состав песчаного бетона при регламентируемом коэффициенте уплотнения $K_{упл} \geq 0,97$ подбирается в следующем порядке.

Определяется предварительная величина Ц/В (рис. 1) и расхода вяжущего Ц в кг/м³ (рис. 2).

По принятым значениям Ц и Ц/В устанавливается количество цементного теста $V_{ц,т}$ в л/м³ и расход песка П в кг/м³ по формулам (1) и (2):

$$V_{ц,т} = Ц(\gamma_{ц}^{-1} + В/Ц); \quad (1)$$

$$П = \gamma_{п}(1000 - V_{ц,т}), \quad (2)$$

где $\gamma_{ц}$ и $\gamma_{п}$ — плотность цемента и песка.

Изготавливается бетонная смесь принятого состава, и по формуле (3) определяется коэффициент уплотнения $K_{упл}$, достигнутый в контрольных образцах,

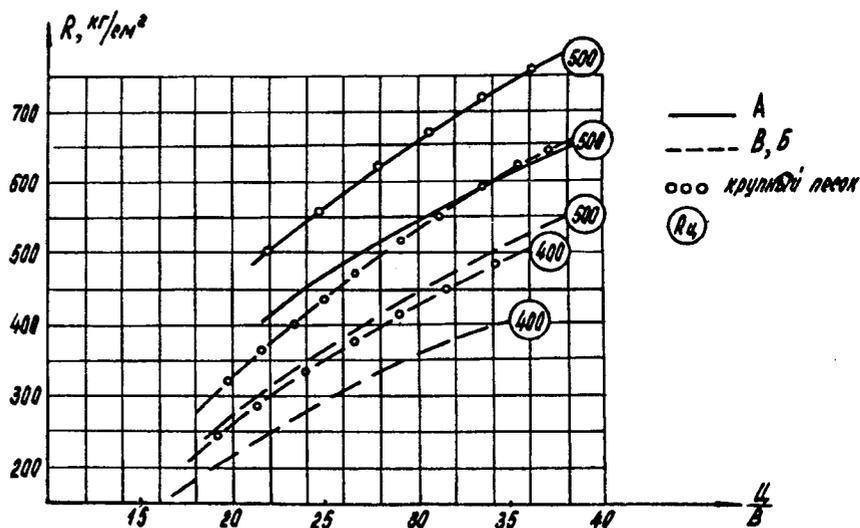


Рис. 1. Зависимости прочности песчаного бетона от Ц/В отношения

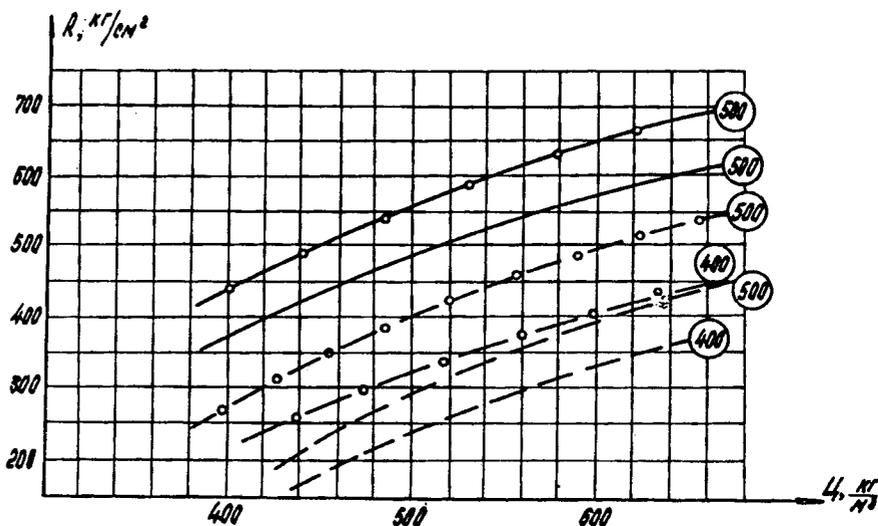


Рис. 2. Влияние расхода цемента на прочность песчаного бетона

$$K_{упл} = \gamma_{ф}/\gamma_{т}, \quad (3)$$

где $\gamma_{ф}$ — фактическая объемная масса уплотненной бетонной смеси; $\gamma_{т}$ — теоретическая объемная масса, равная:

$$\gamma_{т} = (Ц + П + В)/1000. \quad (4)$$

Если требуемая величина $K_{упл}$ не достигнута, изготавливают новую серию образцов с увеличенным количеством цементного теста при принятом Ц/В до тех пор, пока не

Расход воды, л/м ³ , при технологиях					
"А" и "Б"				"В"	
крупный песок		мелкий песок		крупный песок	мелкий песок
роликотформование	виброштампование с удельным давлением, г/см ²	роликотформование	виброштампование с удельным давлением, г/см ²		
	500	50	500	50	
140	150	170	150	160	180
				210	220

будет получено необходимое уплотнение.

Затем изготавливают три серии контрольных образцов: одну из песчаного бетона выбранного состава, в двух других меняют Ц/В изменением расхода вяжущего при постоянном расходе воды. Величину Ц/В рекомендуются изменять для смесей с Ц/В, равным 1,25—2,5 на $\pm 0,4$; для смесей с Ц/В выше 2,5 — на $\pm 0,25$.

По результатам испытаний серий контрольных образцов строится зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения и выбирается окончательный состав бетона.

Расход материалов в окончательно выбранном составе бетона определяется умножением полученных величин Ц, П и В на фактический коэффициент уплотнения.

Если $K_{упл}$ не регламентирован, то проектирование состава бетона заданной марки по прочности рекомендуется выполнять следующим образом.

Если $K_{упл}$ не регламентирован, то проектирование состава бетона заданной марки по прочности рекомендуется выполнять следующим образом.

По таблице назначается расход воды в $л/м^3$ в зависимости от принятой технологии изготовления, способа уплотнения бетонной смеси и крупности песка.

А — содержание в песке фракций (+2,5; —5,0);

Б — то же (+1,25; —2,5);

В — то же (+0,63; —1,25);

Г — то же (+0,31; —0,63);

Д — то же (+0,14; —0,31).

Расчет по формуле (6) применяется при использовании фракционированного песка.

По формуле (7) определяется в $л/м^3$ расход цементного теста при $K_{упл} = 0,91$

$$V_{ц,т} = П \cdot 1000 - 90. \quad (7)$$

По формуле (8) определяется в $кг/м^3$ расход цемента

$$Ц = (V_{ц,т} - В) \gamma_{ц}. \quad (8)$$

Производится пробное затворение с целью уточнения принятого коэффициента уплотнения. При несовпадении полученного и заданного $K_{упл}$ в смесь добавляется (исключается) некоторое количество цементного теста.

Проводятся новые затворения полученной цементно-песчаной смеси с увеличен-

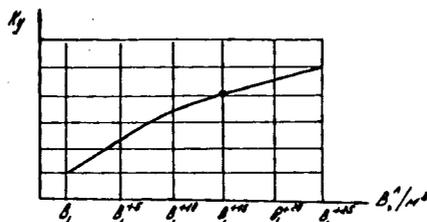


Рис. 3. Зависимость $K_{упл}$ бетонной смеси от содержания в ней воды

ными в каждом случае на 5 $л/м^3$ расходами воды.

Строится график зависимости $K_{упл} = f(V)$, имеющий вид, приведенный на рис. 3.

Этот график с достаточной для практических целей точностью может быть представлен в виде двух прямых, имеющих разные наклоны к оси абсцисс. Верхняя прямая показывает, что при добавлении в бетонную смесь воды в количестве 10 $л/м^3$ коэффициент уплотнения увеличивается на 1%. Это означает, что точка пересечения этих прямых указывает на количество воды, позволяющее обеспечить максимальную жесткость смеси, перерабатываемую конкретным формующим агрегатом.

Проводятся новые затворения смесей с найденным количеством воды и с разными расходами цемента. Каждое затворение сопровождается определением $K_{упл}$. По результатам испытаний образцов строится зависимость прочности бетона от расхода цемента и выбирается ее значение, удовлетворяющее требованиям отпускной (передаточной) и марочной прочности.

Пример. Подобрать состав песчаного бетона М500, уплотняемого вибрацией с пригрузом 0,45 $кгс/см^2$, на портландцементе М500 с коэффициентом уплотнения не менее 0,97. Пластифицирующая добавка СДБ — 0,1% массы цемента. Модуль крупности песка 2,8. Бетон подвергается термообработке:

а) определяется величина Ц/В по рис. 1

$$Ц/В = 2,70;$$

б) по рис. 2 принимается расход вяжущего

$$Ц = 450 \text{ кг/м}^3.$$

Соответствующий расход воды:

$$В = 450 / 2,70 = 167 \text{ л/м}^3;$$

в) расход цементного теста составляет

$$V_{ц,т} = Ц/3,12 + В = 311 \text{ л/м}^3;$$

расход песка определяется по уравнению абсолютных объемов

$$\begin{aligned} П &= 2,62(1000 - 311) = \\ &= 1800 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Таким образом, получен состав бетона для опытных затворений

$$Ц:П:В:Д = 450:1800:167:0,45;$$

г) опытное затворение цементно-песчаной смеси, уплотняемой 0,45 $кгс/см^2$ с пригрузом $K_{упл} = 0,94$ — меньше регламентированного. Необходимо увеличить количество цементного теста приблизительно на 30 л. При данном Ц/В это обеспечивает 16 л воды и 43 кг цемента. Расход песка соответственно уменьшится на 80 $кг/м^3$. Полученный состав Ц:П:В = 493:1720:183. В изготовленных из этого состава образцах $K_{упл}$ бетонной смеси равен 0,97;

д) изготавливаются три серии контрольных образцов.

Первая серия — Ц/В = 2,47, вторая — 2,70, третья — 2,95. Определяются составы первой и третьей серий.

Расход воды сохраняется 183 $л/м^3$. Расход цемента: для первой серии Ц = $183 \times 2,47 = 452 \text{ кг/м}^3$; для третьей серии Ц = $183 \times 2,95 = 540 \text{ кг/м}^3$.

Расход песка:
для первой серии П = $2,62(1000 - 183) - 452/3,12 = 1760 \text{ кг/м}^3$,
для третьей серии П = $2,62(1000 - 183) - 540/3,12 = 1680 \text{ кг/м}^3$;

е) изготавливаются контрольные образцы из песчаного бетона трех указанных составов и испытываются в возрасте 28 сут после тепловой обработки;

ж) по результатам испытаний образцов строится кривая функции $R = f(Ц/В)$ и устанавливается, что для получения требуемой прочности необходимо Ц/В = 2,75;

з) рассчитывается новый состав бетона исходя из Ц/В = 2,75 и расхода воды В = 183 $л/м^3$;

расход цемента Ц = $183 \times 2,75 = 505 \text{ кг/м}^3$;
расход цементного теста

$$V_{ц,т} = 183 + 505/3,12 =$$

$$= 345 \text{ л/м}^3;$$

расход песка

$$\begin{aligned} \Pi &= 2,62(1000 - 345) = \\ &= 1710 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

Из бетонной смеси полученного состава делается контрольный замес и определяется фактический $K_{упл}$. Получен $K_{упл} = 0,97$. Окончательно корректируется рабочий состав:

$$\text{Ц} = 505 \times 0,97 = 490 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{В} = 183 \times 0,97 = 180 \text{ л/м}^3;$$

$$\Pi = 1710 \times 0,97 =$$

$$= 1680 \text{ кг/м}^3;$$

$$Д = 0,5 \text{ кг/м}^3.$$

Предлагаемый способ подбора состава, учитывающий влияние технологических приемов на прочностные характеристики материала, позволяет получать песчаные бетоны минимальной стоимости с заданной прочностью и коэффициентом уплотнения.

Особенности способа, предусматривающие изготовление контрольных образцов из материалов и методами, применяемыми для изготовления конструкций, для которых ведется подбор составов песчаного бетона, позволили успешно использовать способ в практике заводских лабораторий.

Библиографический список

1. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. — М.: Стройиздат, 1975.
2. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. — М.: Стройиздат, 1979.
3. Баженов Ю.М. Технология бетона. — М.: Высшая школа, 1978.
4. Львович К.И., Яструбинский В.Л. Влияние состава и технологии изготовления песчаного бетона на его характеристики. — Бетон и железобетон, 1977, №10.
5. Львович К.И. Выбор песков для песчаного бетона. — В кн.: Исследования по созданию и внедрению на предприятиях ГМПСМ новых и усовершенствованных технологических процессов в области производства изделий из песчаного обычного бетонов. — М.: 1980.

АРМАТУРА

УДК 691.87:691.714

К.В. МИХАЙЛОВ, д-р техн.наук, проф., Т.И. МАМЕДОВ, канд.техн.наук, А.С. КОРОТКИЙ, инж. (НИИЖБ)

Ускоренное определение релаксационной стойкости высокопрочной проволочной арматуры

Достоверный учет потерь предварительного напряжения в высокопрочной арматуре имеет существенное значение для оценки надежности и трещиностойкости предварительно напряженных железобетонных конструкций. Известно, что от 30 до 50% всех потерь составляют потери напряжений от релаксации. В настоящее время релаксационную стойкость высокопрочной проволочной арматуры принято рассматривать как одну из характеристик ее качества наравне с временным сопротивлением, условным пределом текучести и другими показателями. Требования по браковочным максимумам потерь напряжений от релаксации при нормируемых условиях испытаний включены в стандарты США (ASTM A 421), Великобритании (BS 2691, BS 5896) и других промышленно развитых стран. В действующих отече-

ственных стандартах подобные требования предусмотрены для стабилизированной проволоки (ГОСТ 7348) и для арматурных канатов (ГОСТ 13840).

В большинстве нормативно-технических документов принята база релаксационных испытаний 1000 ч. Это можно объяснить достаточной для практических целей надежностью экстраполяции результатов 1000-часовых испытаний на более длительные сроки, соизмеримые с продолжительностью эксплуатации преднапряженных железобетонных конструкций.

Однако сложившаяся практика проведения релаксационных испытаний на базе 1000 ч требует наличия специального оборудования, как правило, не отвечает требованиям оперативного контроля качества высокопрочной арматуры на производстве и не обеспечивает незаме-

длительного внесения необходимых изменений в технологический процесс при отрицательных результатах испытаний. Выявление некачественной продукции происходит, как правило, после ее получения и использования потребителем и носит во многом регистрационный характер.

Снять указанные противоречия позволяет переход к укороченной базе релаксационных испытаний. В Японии, например, в соответствии со стандартом JIS G 3536 для проверки релаксационной стойкости высокопрочной проволочной арматуры с нормальной релаксацией используют 10-часовую базу испытаний.

В проекте Европейского стандарта на напрягаемую сталь (pr EN 10138—1) предусмотрена возможность использования нормируемой базы испытания на релаксацию 120 ч при усло-

вии, что изготовитель обеспечивает надежную корреляцию между величинами релаксации за 1000 и 120 ч.

Средством повышения статистической надежности результатов испытаний на укороченной временной базе является увеличение их абсолютных значений. Этого можно достичь увеличением начальных напряжений и/или температуры испытаний по сравнению с их нормируемыми величинами. Однако указанное повышение температуры требует значительного усложнения необходимого оборудования и характеризуется повышенным расходом электроэнергии. При увеличении уровня начальных напряжений возникает дополнительный неизвестный фактор, обусловленный высокой изменчивостью условного предела упругости как по различным предприятиям-изготовителям, так и по отдельным партиям на каждом предприятии.

Целью настоящей работы являлось проведение статистического анализа развития релаксации напряжений во времени по видам высокопрочной проволочной арматуры (стабилизированная и низкоотпущенная проволока, низкоотпущенные арматурные канаты), определение базы ускоренных релаксационных испытаний и статистически достоверных коэффициентов перехода к базе 1000 ч.

Для решения поставленных задач были использованы накопленные в НИИЖБе за последние 10 лет результаты испытаний на релаксацию напряжений на базе не менее 1000 ч образцов высокопрочной проволочной арматуры производства Орловского и Череповецкого сталепрокатных заводов, Волгоградского и Харьковского сталепрокатно-канатных заводов, Белорецкого металлургического комбината.

Испытания проводили по методике ГОСТ 28334 при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$ на динамометрических рамах конструкции НИИЖБа, прошедших метрологическую аттестацию в установленном порядке.

Многочисленными исследованиями различных авторов установлено, что диаметр и наличие или отсутствие периодического профиля не влияют на релаксационные свойства высокопрочной проволочной арматуры. Это позволило сформировать три массива опытных данных: проволоки и канатов, под-

вергнутых низкотемпературному отпуску, и стабилизированной проволоки.

Общий объем принятых к рассмотрению результатов испытаний при уровне начальных напряжений $\sigma_{sp} / \sigma_b \approx 0,7$ составил 203 образца, в том числе 58 образцов низкоотпущенной проволоки классов В-II и Вр-II диаметром 3...7 мм, 121 образец низкоотпущенных канатов класса К-7 диаметром 6, 9, 12 и 15 мм и 24 образца гладкой стабилизированной проволоки диаметром 5 мм.

Предварительная обработка показала возможность использования нормального закона для анализа опытных данных. Статистические характеристики полученных распределений на базе 1000 ч приведены в табл. 1.

В действующих стандартах уровень начального напряжения

при определении релаксационной стойкости высокопрочной проволочной арматуры назначается исходя из ее фактической прочности. Согласно накопленным опытным данным действительные прочностные характеристики арматурной проволоки и канатов, как правило, превышают нормативные значения на 3...5%. Таким образом, назначаемый при проектировании конструкций уровень предварительных напряжений, как правило, ниже используемого в контрольных релаксационных испытаниях. Это обуславливает определенный запас при оценке потерь предварительных напряжений и связанных с ними характеристик прочности, жесткости и трещиностойкости преднапряженного железобетона.

Указанное обстоятельство позволяет с достаточной для

Таблица 1

Статистические характеристики	Низкоотпущенная проволока	Низкоотпущенные канаты	Стабилизированная проволока
Количество образцов	58	121	24
Среднее значение релаксации в % от σ_{sp}	6,40	6,69	2,17
Среднеквадратическое отклонение $S_n - 1$	0,94	1,06	0,38
Коэффициент вариации, %	14,7	15,8	17,5

Таблица 2

Статистические характеристики	Низкоотпущенная проволока			Низкоотпущенные канаты			Стабилизированная проволока		
	Выдержка, ч								
	6	24	100	6	24	100	6	24	100
Среднее значение релаксации в % релаксации за 1000 ч	40,6	55,7	69,9	33,7	48,2	63,5	53,3	68,3	80,0
Среднеквадратическое отклонение $S_n - 1$	7,3	6,1	6,3	7,3	6,8	6,6	11,6	9,9	8,3
Коэффициент вариации, %	18,0	11,0	9,0	21,7	14,1	10,4	21,8	14,5	10,4

Таблица 3

Вид высокопрочной проволочной арматуры	База релаксационных испытаний, ч			
	6	24	100	1000
Низкоотпущенная проволока и канаты	35	50	65	100
Стабилизированная проволока	50	70	80	100

практических целей надежно принять вероятностную обеспеченность нормативной величины релаксации $p = 0,90$ (квантиль $t = 1,28$).

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что для арматурной проволоки и канатов, подвергнутых низкотемпературному отпуску, при этом обеспечивается выполнение условия $\bar{X} + tS_{n-1} < X_{\max} = 8\%$.

Для стабилизированной проволоки полученное значение $\bar{X} + tS_{n-1} = 2,66\%$, что несколько превышает нормативный браковочный максимум 2,5%. Это можно объяснить следующими причинами: недостаточной отработанностью технологии производства стабилизированной проволоки на Череповецком сталепрокатном заводе; сравнительно малым объемом накопленных опытных данных; низкой абсолютной величиной фиксируемой релаксации, при которой возрастает удельный вес ошибок измерения.

Анализ результатов проведенных испытаний показал, что в пределах $0,65 \leq \sigma_{sp}/\sigma_b \leq 0,75$ релаксация напряжений в высокопрочной проволочной арматуре по промежуточным точкам временной базы, выраженная в процентах от релаксации за 1000 ч, практически

не зависит от уровня начальных напряжений. Это позволило увеличить объем рассматриваемых результатов до 298 образцов, в том числе — 100 образцов низкоотпущенной проволоки, 144 образца низкоотпущенных канатов и 54 образца стабилизированной проволоки. Результаты статистического анализа полученных данных представлены в табл. 2. Из них следует, что среднеквадратические отклонения и коэффициенты вариации релаксации напряжений на базе испытаний 24 и 100 часов незначительно различаются между собой, тогда как на базе 6 часов разброс результатов испытаний существенно больше.

Исходя из изложенного выше, релаксацию при ускоренных испытаниях, выраженную в процентах от релаксации за 1000 ч, можно принимать в соответствии с табл. 3.

Полученные величины весьма близки средним значениям, приведенным в зарубежных нормативно-технических документах (Модель-Код ЕКБ-ФИП 1990, Еврокод N 2-1989, нормы ФРГ DIN 1045).

Коэффициенты вариации значений релаксации на базах 24 и 100 ч (см. табл. 2) меньше, чем на базе 1000 ч. Это

указывает на то, что с достаточно высокой степенью надежности ($p \geq 0,90$) релаксацию напряжений при нормируемых условиях испытаний на базе 1000 ч и уровне начальных напряжений $\sigma_{sp}/\sigma_b \approx 0,7$ можно определять по результатам ускоренных испытаний.

Из условий удобства выполнения лабораторных испытаний и реальной возможности использования наличного парка разрывных машин можно принять базу ускоренных испытаний 24 ч и величину переходного коэффициента к релаксации на базе 1000 ч:

- а) для низкоотпущенных проволоки и канатов — 2,0;
- б) для стабилизированной проволоки — 1,4.

Целью следующего этапа работы является разработка методики ускоренных релаксационных испытаний в условиях метизных предприятий для оперативного контроля качества высокопрочной проволочной арматуры и технологических параметров ее производства. Накопление достаточного опыта позволит включить эту методику в ГОСТ 28334 "Метод испытания на релаксацию при постоянной деформации".

ЗАВОДСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 666.9.055:691.022-413

В.Е. БОЙКО, В.Т. ШАЛЕННЫЙ, кандидаты техн. наук
(Днепропетровский инженерно-строительный ин-т)

Модернизация установок вертикального формирования домостроительных предприятий

До настоящего времени более 60% продукции предприятий крупнопанельного домостроения составляют конструкции, изготавливаемые в кассетах и стендовых установках объемных элементов. Наряду с общепризнанными преимуществами такая технология имеет и ряд существенных недостатков, над устранением которых рабо-

тают многие научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации. На достаточно эффективную схему приложения вибрационной нагрузки к гибким разделительным листам указал еще проф. Ю.Б. Монфред [1]. Ему же удалось доказать, что весьма эффективно крепление вибраторов на верхней кромке разде-

лительных листов в свободном их пролете. Впервые проверена целесообразность установки дополнительных вибраторов на каждом разделительном листе НИИЖБом на Ростокинском заводе ЖБИ [2].

Дальнейшее развитие упомянутое усовершенствование кассетных установок получило на Харьковском ДСК-1, а затем

в КИСИ [3], где было разработано специальное более мощное съемное виброустройство, которое могло, в принципе, поочередно обслуживать несколько кассетных установок пролета. Учитывая положительные результаты работ по применению вибрации в верхней незащемленной части разделительных листов, а также выявленные недостатки при реализации на практике предложенного принципа, авторами разработаны, исследованы и внедрены в производство новые конструкции съемных устройств для уплотнения бетонной смеси как в кассетах, так и в стендовых установках вертикального формования объемных элементов. Результаты этих работ освещаются ниже.

В основу реализованной на практике конструкции вибробалки для кассет (рис. 1) положен принцип охвата этой коробчатой балкой закрепленных на отсеках бобышек, которые после зажима образуют общую вибросистему (а.с. N1502310 и N1678621). К разделительным листам сверху в незащемленной их части приварены бобышки сечением 50x50 мм и длиной 160 мм, через которые передаются колебательные движения на виброрист от общей балки-короба. На термоотсеках установлены аналогичные бобышки, но закреплены они через пластины с болтами в удлиненных пазах. Это исключает передачу вибрации от вибробалки на жесткие термоотсеки. Корпус вибробалки состоит из двух швеллеров-направляющих и имеет с одной стороны винтовой зажим, а с другой — площадку для крепления двух вибраторов ИВ-68. Вибробалка с помощью подъемных петель и направляющих ручек устанавливается краном на кассетную машину, после чего винтом осуществляется зажим бобышек в единый колебательный блок.

Для подтверждения эффективности предложенного решения нами проводились сопоставительные исследования по измерению амплитуды вибрации на кассетных установках Днепродзержинского ДСК, оснащенных предложенной вибробалкой и традиционной схемой с вибраторами на торцах разделительных листов. Все измерения проводились при закрытой кассете на вибрационном листе между девятым и десятым от-

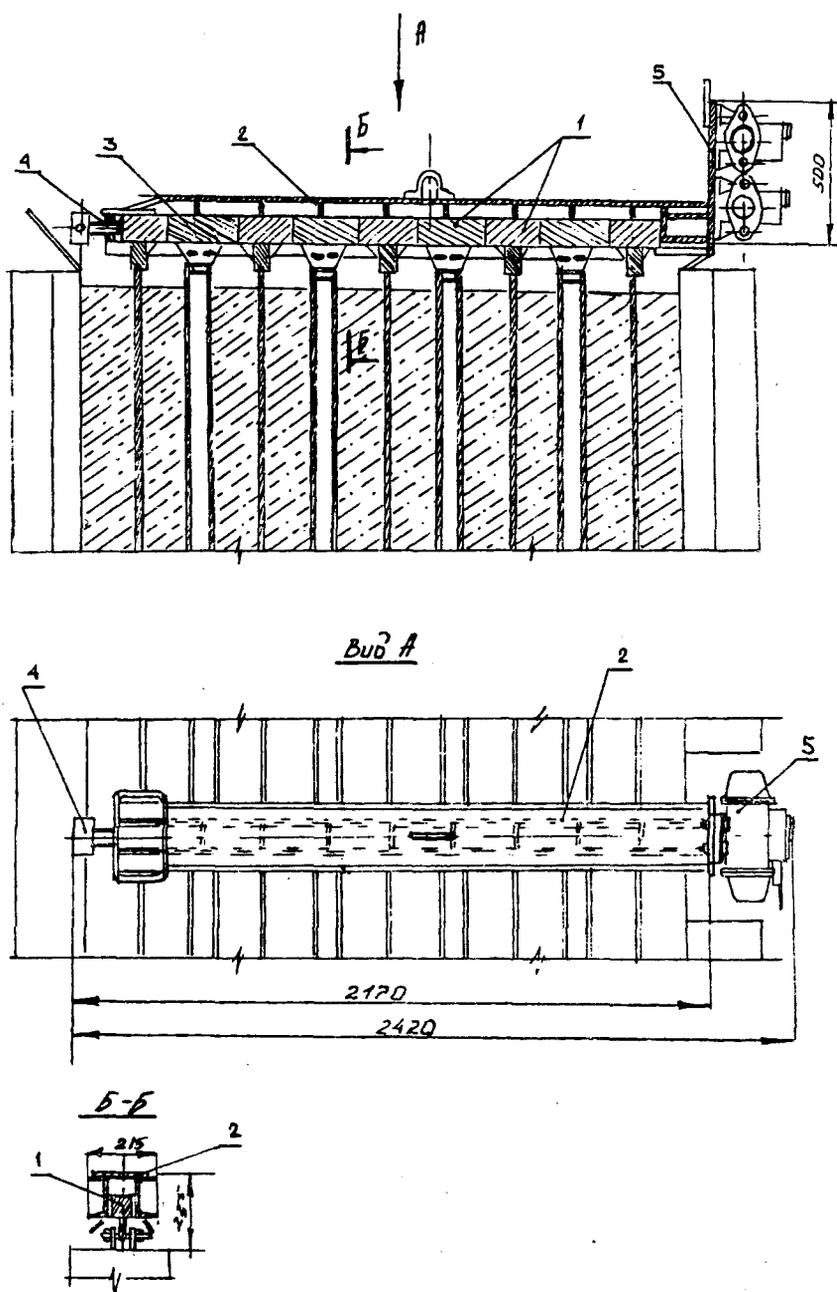


Рис. 1. Схема съемной вибробалки для кассет

1 — бобышки; 2 — балка-короб; 3 — болты в горизонтальных пазах; 4 — винтовой зажим; 5 — площадка крепления вибраторов

секами. При этом вся кассета формовалась, кроме девятого отсека, где были установлены пьезоэлектрические датчики. Причем на гибких разделительных листах вместо двух вибраторов по торцам устанавливались по одному, чередуясь с разных сторон листа (рис. 2).

Для исследования параметров вибрации использовалась измерительная система, состоящая из пьезоэлектрических датчиков КД21 (Германия), устройства для измерения колебаний типа ДМ132 (Германия) и быстродействующего самопишу-

щего многоканального прибора Н3031-8. Рабочий частотный диапазон самописца — от 0 до 125 Гц, датчики ускорений серии КД21 могут применяться для измерения колебаний в диапазоне от 2 Гц до 2 кГц. Преобразованный электрический сигнал с датчиков поступал на соответствующие входы устройства ДМ132. Последнее позволяет измерять эффективную величину колебательных ускорений, колебательной скорости и колебательного пути (отклонения) в диапазоне частот от 2 Гц до 10 кГц. Прибор

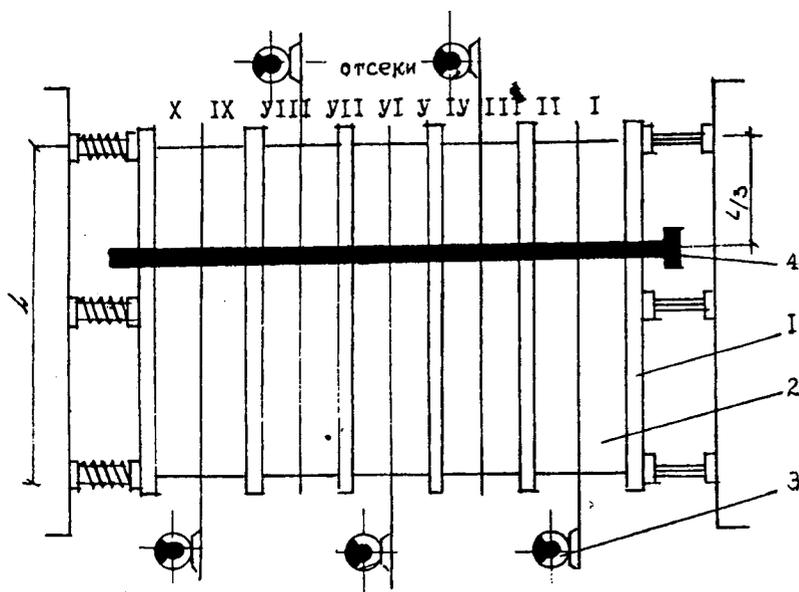


Рис. 2. Схема размещения вибровозбудителей на кассете (комбинированный вариант)
 1 — тепловой отсек; 2 — вибронагревательный отсек; 3 — вибратор ИВ; 4 — съемная вибробалка

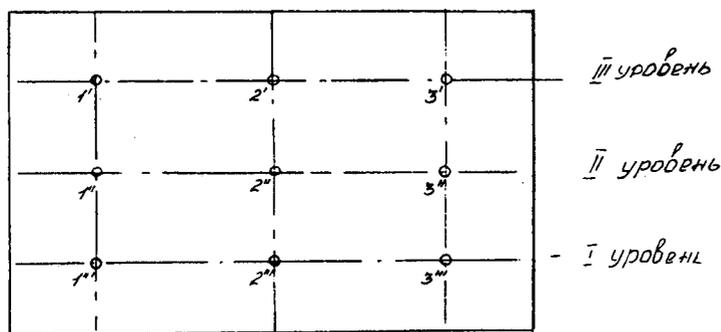


Рис. 3. Схема установки пьезоэлектрических датчиков на вибронагревательной кассетной листе

обладает тремя каналами, поэтому параллельно производились измерения колебаний в трех точках. Измерительный процесс контролировался на экране встроенного осциллографа. На рис. 3 показана схема расположения пьезоэлектрических датчиков на вибронагревательной кассете.

Результаты замеров параметров вибрации (амплитуды колебаний вибронагревательной кассеты по его высоте в зависимости от степени заполнения и способа приложения вибрации, мм) представлены в таблице. Замеры производились в трех уровнях по высоте листа и в трех точках по его длине в пустом отсеке, а также на треть, половину и полностью заполненном бетонной смесью. Анализ полученных данных показал, что как при пустой кассете, так и заполненной бетоном амплитуда колебаний листов при традиционной технологии с установленными вибраторами на торцах листов недостаточна и в некоторых областях составляет 0,16—0,2 мм. При всех отключенных вибраторах на кассете и использовании только двух вибраторов мощностью по 0,8 кВт на предложенной вибробалке также наблюдаются точки с амплитудой колебаний около 0,2 мм. Поэтому рекомендован и до настоящего времени используется на промбазе Днепродзержинского ДСК комбинированный вариант — использование съемной вибробалки вместе с половиной вибраторов на торцах листов. При этом замеренные амплитуды колебаний во всех точках и состояниях кассеты находятся в пределах от 0,4 до 0,6 мм, что вполне обеспечивает виброобработку бетонной смеси.

Учитывая положительные результаты модернизации кассетного оборудования, авторами было предложено изменить схему приложения вибрации в стендовых установках объемных элементов и установить вибровозбудитель не на заземленные жесткие наружные тепловые щиты, а на сердечник. Для этого на нем были приварены консоли из листа толщиной 24 мм с косынками, а на них устанавливалась съемная вибробалка с расположенными на консолях вибраторами (а.с. N1440732). Опыт длительной эксплуатации предложенной системы (более года) позволил упростить ее закрепле-

Степень заполнения кассеты	Способ вибрации	Уровни по высоте кассетного листа								
		I			II			III		
		Точки замеров								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Пустая	Традиционный	0,16	0,44	0,60	0,34	0,48	0,40	0,36	0,52	0,36
	Вибробалка	0,54	0,56	0,26	0,46	0,42	0,34	0,46	0,38	0,34
	Комбинированный	0,50	0,58	0,61	0,48	0,50	0,44	0,44	0,52	0,52
Заполнена на 1/3	Традиционный	0,32	0,26	0,50						
	Вибробалка	0,36	0,18	0,22						
	Комбинированный	0,44	0,38	0,62						
Заполнена на 1/2	Традиционный				0,16	0,22	0,30			
	Вибробалка				0,12	0,32	0,12			
	Комбинированный				0,38	0,56	0,42			
Полная	Традиционный							0,20	0,48	0,34
	Вибробалка							0,32	0,48	0,20
	Комбинированный							0,44	0,60	0,42

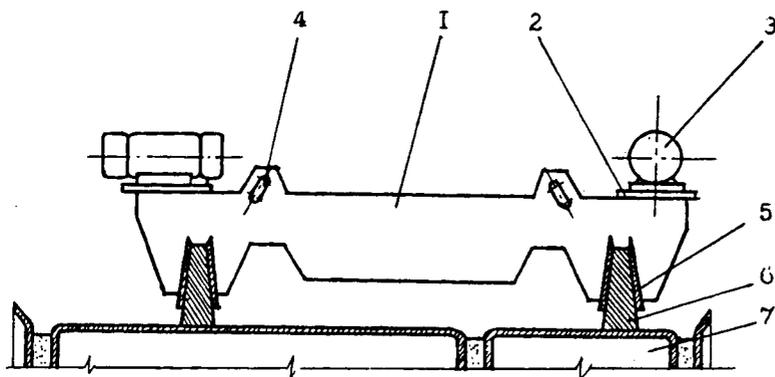


Рис. 4. Схема съемной вибробалки для формирования санитарно-технических кабин
1 — рама; 2 — площадка для закрепления вибратора; 3 — вибратор; 4 — строповочная петля; 5 — клиновой зажим; 6 — консоль; 7 — сердечник

ние на консолях до клинового (рис. 4). Съемное виброоборудование краном устанавливается на консоли сердечников, после чего включаются в работу вибраторы ИВ-104. Под действием последних происходит зажим и заклинивание вибробалки, а затем — передача вибрационных колебаний на сердечники и через них — на бетонную смесь.

Для подтверждения эффективности предложенного решения проводились аналогичные исследования интенсивности вибропроработки бетона с использованием той же, что и для кассет, измерительной системы. Результаты этих исследований подтвердили целесообразность полного отказа от навесных вибраторов на термошитах (не менее восьми) и использования

только съемной вибробалки с двумя расположенными на ее консолях вибраторами по 0,6 кВт.

Авторами были проведены также замеры и сравнения шумовых параметров на рабочих местах при традиционной технологии и с применением съемного виброоборудования путем построения спектрограмм уровней звукового давления. В результате установлено, что на рабочем месте формовщика кассеты при использовании съемной вибробалки уровень звука, по сравнению со старым способом уплотнения бетонной смеси, снизился на 7,5 дБА (с 91,3 до 83,8), а на посту формирования объемных элементов с 84,9 до 79,1 дБА, что ниже предельно

допустимых значений по санитарным нормам.

Таким образом, проведенные исследования, производственные испытания и опыт последующей длительной эксплуатации разработанного съемного виброоборудования для кассет и установок объемных элементов подтверждают эффективность предложенной модернизации.

Уменьшилась энергоемкость уплотнения бетонных смесей, появилась возможность уплотнять более жесткие бетонные смеси и тем самым сокращать продолжительность последующей термообработки. По нашему мнению, предложенная модернизация целесообразна и при внедрении высокомеханизированных кассетно-конвейерных линий Тульского (Каменск-Уральского) направления, включая и систему "Пакет".

Библиографический список

1. Монфред Ю.Б. Технология изготовления железобетонных изделий для жилищного строительства. — М.: Госстройиздат, 1963. — 190 с.
2. Гусев Б.В., Аксельрод Е.З., Цыро В.В. Совершенствование изготовления плитных изделий // Бетон и железобетон. — 1986. — №8. — С. 17—20.
3. Сивко В.И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси. — К.: Вища школа, 1987. — 167 с.

В ПОМОЩЬ ПРОЕКТИРОВЩИКУ

удк 624.012.4

К.А. ПИРАДОВ, канд.техн.наук, Е.А. ГУЗЕЕВ, д-р техн.наук, проф. (НИИЖБ)

Подход к оценке напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов через параметры механики разрушения

В железобетонном элементе на разных стадиях нагружения образуются силовые трещины трех типов (рис. 1): 1) нормальные к продольной оси элемента — трещины "нормального

отрыва", обозначаемые индексом v ; 2) наклонные к продольной оси, развивающиеся из нормальных в результате возрастания касательных напряжений, обозначаемые индексом

i ; 3) параллельные продольной оси — трещины "поперечного сдвига", образующиеся в стадии предразрушения и развивающиеся с высокой скоростью перед исчерпанием элементом

несущей способности и обозначаемые индексом h . Процесс развития наклонных трещин можно рассматривать как результат совместного действия таких внутренних усилий, от которых в вершинах трещин нормального отрыва развиваются трещины поперечного сдвига.

Развитие трещин в материале описывается в механике разрушения с помощью коэффициентов интенсивности напряжений K_i — силовой характеристики, функционально связывающей действующее усилие и длину трещины.

В общем случае

$$K_I = P(Q) Y(l_0) / \sqrt{\pi l_{cr}},$$

где $Y(l_0)$ — коэффициент, учитывающий способ приложения внешней нагрузки и геометрические размеры конструкции.

При этом $i = 1$ для случая нормального отрыва и $i = 2$ для поперечного сдвига. В момент сдвиги трещины локального разрушения K_i становится равным своему критическому значению K_{ic} — постоянной материала, характеризующей его трещиностойкость. Для железобетона — композитного материала — будем различать 3 различных значения K_{ic} : для бетона — K_{ic}^b , железобетона — K_{ic}^{rv} и арматуры — K_{ic}^{sv} . Причем коэффициент K_{ic}^s является не величиной критического коэффициента интенсивности напряжений для стали а лишь ее частью для железобетона, характеризующей сдерживающее влияние арматуры на развитие трещин в сечении.

Каждому из трех типов трещин соответствует определенное напряженно-деформированное состояние в зоне развития трещины и параметры для расчета конструкции.

1. Трещина типа v (рис. 2) образуется от действия внешнего момента и развивается в растянутой части сечения, поэтому арматура A_s , расположенная в сжатой его части, не оказывает влияние на развитие нормальных трещин. Условно заменим влияние растянутой арматуры A_s на трещину взаимно уравновешенными силами $\sigma_s A_s$, приложенными к берегам трещины в центре тяжести растянутой арматуры. Влияние поперечной арматуры заменим силами $\sigma_{sw} A_w$, приложенными в пределах берега трещины либо к ее вершине в центре тяжести попе-

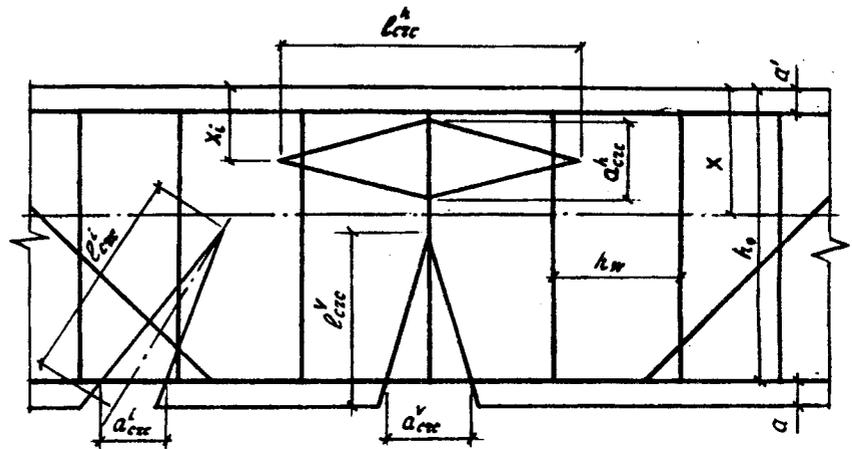


Рис. 1. Классификация трещин в железобетонном элементе

речной арматуры. То есть на трещину, нормальную к продольной оси элемента, действует система сил, показанная на рис. 2. При этом внешний момент M воспринимается бетоном, сопротивляющимся нормальному отрыву, и растянутой арматурой, а поперечная сила Q — бетоном, сопротивляющимся поперечному сдвигу, и поперечной арматурой. Используя принцип независимости действия сил, запишем напряженно-деформированное состояние в трещине

$$\begin{aligned} K_I^{rv} &= K_I^{bv} + K_I^{sv} \\ K_{II}^{rv} &= K_{II}^{bv} + K_{II}^{sv} \end{aligned} \quad (1)$$

В момент локального разрушения

$$\begin{aligned} K_{Ic}^{rv} &= K_{Ic}^{bv} + K_{Ic}^{sv} \\ K_{IIc}^{rv} &= K_{IIc}^{bv} + K_{IIc}^{sv} \end{aligned} \quad (2)$$

Величины K_{Ic}^b и K_{IIc}^b являются постоянными материала и поэтому имеют одинаковые значения для всех видов трещин. Для определения K_I^{sv} необходимо знать вид приложения нагрузки и в справочнике по механике

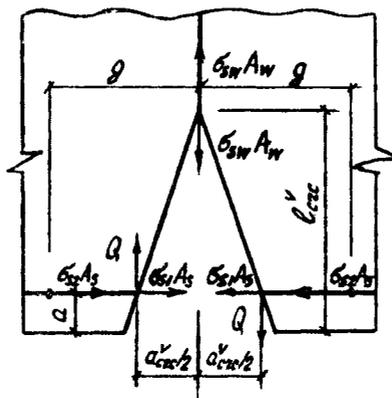


Рис. 2. Трещина типа v

разрушения (в частности [1]) найти соответствующее выражение для K_I^{sv} . Значение K_I^{sv} найдем, воспользовавшись решением задачи с растяжением полосы с краевой трещиной сосредоточенными силами, приложенными к берегам трещины на расстоянии a от края полосы [2]. Учитывая обратимый характер задачи при несмыкании берегов в бетоне,

$$K_I^{sv} = 2\sigma_s A_s Y_I(l_0, a_0) / (b\sqrt{\pi l_{cr}}), \quad (3)$$

где $a_0 = a/l_{cr}$; $l_0 = l_{cr}/h$; h, b — высота и ширина сечения элемента; l_{cr} — длина трещины нормального отрыва;

$$\begin{aligned} Y_I(l_0, a_0) &= 3,52(1 - a_0) / \\ & (1 - l_0)^{3/2} - (4,35 - 5,28 a_0) / \\ & \sqrt{1 - l_0} + ((1,3 - 0,3 a_0) / \\ & \sqrt{1 - a_0^2} + 0,83 - 1,76 a_0)(1 - \\ & - l_0 + a_0 l_0) \end{aligned}$$

С ростом внешней нагрузки постепенно нарушается сцепление арматуры с бетоном, и точки приложения сил $\sigma_s A_s$ расходятся в противоположных направлениях по оси продольной арматуры от берегов трещины к боковым граням элемента. Приняв в первом приближении ширину раскрытия трещины $a_{cr}^{sv} = 0$ ($a_{cr}^{sv} \ll l_{cr}$), значения K_I^{sv} с учетом [3] при нарушении сцепления арматуры с бетоном:

$$K_I^{sv} = 2\sigma_s A_s Y_I(l_0, a_0, g) / (b\sqrt{\pi l_{cr}}) \quad (4)$$

где $Y_I(l_0, a_0, g) = (3,52 / (1 - l_0)^{3/2} - 4,35 / \sqrt{1 - l_0} + 2,13(1 - l_0) + f(e))(1 - e^2) / \sqrt{1 - a_0^2}$; $e = b / (g + l_{cr}^0)$; g — длина зоны нарушенного сцепления; $c = 2\pi^2 / (\pi^2 - 4)$; $f(e) = e(0,0044 + 0,1289e + 10,90e^2 - 22,14e^3 + 10,96e^4)$.

Величина g определяется по [4] из

$$\sqrt{l_{crc,1}/l_{crc,2}\sigma_{s,2}/\sigma_{s,1}(\sqrt{c}/2 + f(e))(1 - e^2) - \sqrt{c}/2} = 0, \quad (5)$$

где $\alpha_{s,1} \approx 30$ МПа — напряжение в арматуре при длине трещины $l_{crc,1} = a$; $\alpha_{s,2}$ — при длине трещины $l_{crc,2}$. Из (3) — (5) определим значения K_{Ic}^{sv} и l_{crc} для заданного α_s . Тогда, приняв в (4) действительное раскрытие трещины a_{crc} , то есть $e = (2g + a_{crc}) / (2g + a_{crc} + 2l_{crc})$ и решив (4) относительно a_{crc} , получим значение ширины раскрытия трещины нормального отрыва.

Значение K_{II}^{bv} определим с учетом источника [2]:

$$K_{II}^{bv} = 2QY_{II}(l_0, a_0) / (b\sqrt{\pi l_{crc}}), \quad (6)$$

где $Y_{II}(l_0, a_0) = (1,30 - 0,65l_0 + 0,37l_0^2 + 0,28l_0^3) / (\sqrt{1 - l_0} \sqrt{1 - a_0})$. Величина $K_{II}^{bv} = 0$ независимо от точки приложения силы $\sigma_{sw}A_w$, поэтому K_{II}^{bv} не связан с количеством поперечной арматуры. Окончательно для трещины типа v общая сопротивляемость ее развитию будет

$$K_C^v = K_{Ic}^v + K_{IIc}^v + K_{Ic}^{sv}. \quad (7)$$

При определении предельных значений параметров трещины в формулах (4) и (5) следует принимать $\sigma_s = \sigma_{s,2} = R_s$.

При однозначном напряженном состоянии в сечении (при растяжении) на сопротивляемость развитию трещины типа v будет влиять арматура A_s' . В этом случае величина K_I^{sv} будет иметь значения, уменьшенные на величину ΔK_I^{sv} , определяемую по

$$\Delta K_I^{sv} = 7,044(a' / (h - l_{crc}^v) - 0,368)\sigma_s A_s' / \sqrt{\pi(h - l_{crc}^v)b}. \quad (8)$$

2. Трещина типа h (рис. 3) — образуется и развивается в сжатой зоне сечения, поэтому продольная растянутая арматура A_s не оказывает влияния на развитие трещин поперечного сдвига.

Сдерживающее влияние поперечного армирования на развитие трещин типа h заменим парой сил $\sigma_{sw}A_w$, приложенных в центре тяжести поперечной арматуры у берегов трещины. Кроме того, поперечная арматура работает на срез, сопротивляясь поперечному сдвигу бетона. Усилие в арматуре $\sigma_{s,sh,w}A_w$ противоположно по знаку усилию в бетоне ($\sigma_{s,sh,w}$ — напряжение в поперечной арматуре при работе на срез). В этих же точках приложены усилия

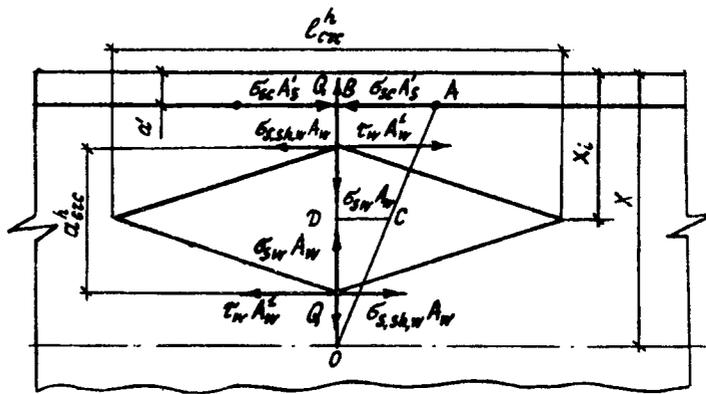


Рис. 3. Трещина типа h

$\tau_w A_w$, вызывающие образование трещин поперечного сдвига. Они возникают, строго говоря, в виде касательных напряжений τ_w , действующих по всей длине трещины, однако мы для упрощения схемы расчета аккумулируем их в сосредоточенные силы.

Напряжения в сжатой арматуре противоположны по знаку τ_w и усилие $\sigma_{sc}A_s'$ в сжатой арматуре (σ_{sc} — напряжения в сжатой арматуре) погашает силу $\tau_w A_w$. Однако влияние усилия $\sigma_{sc}A_s'$ по высоте сечения неодинаково. Примем эпюру интенсивности этого влияния в пределах высоты сжатой зоны сечения треугольной (см. рис. 3), а также предположим, что влияние действия сжатой арматуры одинаково для обеих сил $\tau_w A_w$, то есть ширина трещины $a_{crc}^h = 0$. Сила $\tau_w A_w$ уменьшается на величину CD. Из подобия треугольников ABO и CDO (точка O находится на нейтральной оси)

$$CD = \sigma_{sc} A_s' (x - x_i) / (x - a'),$$

где x_i — расстояние от крайнего сжатого волокна бетона до линии, проходящей через вершину трещины.

Окончательно на трещину типа h действует система сил, показанная на рис. 3. Используя принцип независимости действия сил,

$$K_I^{rh} = K_I^{bh} + K_I^{sh}, \quad (10)$$

$$K_{II}^{rh} = K_{II}^{bh} + K_{II}^{sh},$$

а в момент локального разрушения

$$K_{Ic}^{rh} = K_{Ic}^b + K_{Ic}^{sh}, \quad (11)$$

$$K_{IIc}^{rh} = K_{IIc}^b + K_{IIc}^{sh}.$$

Трещина типа h — трещина

поперечного сдвига, в ее образовании и развитии не участвуют нормальные напряжения отрыва, поэтому $K_I^{oh} = 0$.

Величину K_I^{sh} определим, воспользовавшись решениями [5, 6] для полосы с эксцентрично расположенной трещиной. Ввиду того, что поперечная сила Q может быть приложена на одной линии с усилием в поперечной арматуре, но эти усилия противоположны по направлению, то суммарное усилие, действующее по берегам трещины, будет $\sigma_{sw}A_w - Q$. По этому суммарному усилию и определяется K_I^{sh} для малых λ :

$$K_I^{sh} = (\sigma_{sw}A_w - Q)(1 + 2,2838\lambda^2 - 0,7854\lambda^4) / (b\sqrt{l_{crc}}) \quad (12)$$

и для больших λ :

$$K_I^{sh} = (\sigma_{sw}A_w - Q)\sqrt{3\lambda/l_{crc}} / 2,$$

где $\lambda = l_{crc}^h/h$.

Для нахождения K_{II}^{bh} предварительно определим силу $\tau_w A_w$. Если хомуты расположены с шагом h_w , то $\tau_w A_w' = \sigma_b, sh h_w b$ (σ_b, sh — напряжение в бетоне при его работе на срез). При отсутствии поперечной арматуры $\tau_w A_w' = \sigma_b, sh Db/2$, где D — максимальный диаметр зерен крупного заполнителя. Тогда, приняв во внимание [5], при малых λ

$$K_{II}^{bh} = (\sigma_b, sh h_w b - \sigma_{sc} A_s' (x - x_i) / (x - a')) \sqrt{\pi} (1 + 0,6668 \lambda^2 - 0,6430 \lambda^4) / (b\sqrt{l_{crc}}) \quad (13)$$

и при больших λ

$$K_{II}^{bh} = (\sigma_b, sh h_w b - \sigma_{sc} A_s' (x -$$

$$- x_i) / (x - a'') \sqrt{3 / (\lambda l_{cr}^h) x}$$

$$(1,13 \lambda + 0,285) / b.$$

Если вычисленное по (13) значение K_{II}^{sh} скажется равным K_{II}^c , то образуется трещина поперечного сдвига. Свободному развитию такой трещины препятствует поперечная арматура: во-первых, сдавливая берега трещины (K_I^{sh}) и, во-вторых, сопротивляясь срезу в направлении, противоположном усилию $\tau_w A_w (K_{II}^{sh})$. Согласно [7],

$$K_{II}^{sh} = \sigma_{s,sh,w} A_w \sqrt{2c / (\lambda l_{cr}^h (1 - d_0))} \quad (14)$$

где $d_0 = d / l_{cr}^h$; d — расстояние от вершины трещины до центра тяжести поперечной арматуры.

Ширину раскрытия трещин a_{cr}^h определим, исходя из того, что с ростом внешней нагрузки сцепление поперечной арматуры с бетоном нарушается и точки приложения сил $\sigma_{sw} A_w$ расходятся по вертикали в противоположных направлениях вдоль поперечной арматуры. В этом случае, приняв в первом приближении $a_{cr}^h = 0$,

$$K_I^{sh} = (\sigma_{sw} A_w - Q) \sqrt{3\lambda / l_{cr}^h} (1 + f(e) \sqrt{2Tc}) (1 - e^2) / 2, \quad (15)$$

где $e = g / (g + l_{cr}^h)$.

При страгивании трещины определяем по (12) или (15) K_{Ic}^{sh} и l_{cr}^h . Затем, учитывая в (15) действительное раскрытие трещины a_{cr}^h , и приняв $e = (2g + a_{cr}^h) / (2g + a_{cr}^h + 2l_{cr}^h)$, решая (15) относительно a_{cr}^h , найдем ширину раскрытия трещины поперечного сдвига.

Полная сопротивляемость развитию трещин типа h определяется из:

$$K_C^h = K_{IIc}^b + K_{Ic}^{sh} + K_{IIc}^{sh}. \quad (16)$$

Для определения предельных значений параметров трещин в формулах (12) — (15) следует принимать $\sigma_{sw} = R_{sw}$; $\sigma_{b,sh} = R_b, sh$; $\sigma_{sc} = R_{sc}$ и $\sigma_{s,sh,w} = R_s, sh, w$.

Когда трещина поперечного сдвига достигнет своей критической длины, она отсечет от сжатой части сечения слой бетона толщиной x_i . Тогда рабочая высота сжатой зоны уменьшится на величину x_i и понизится несущая способность. При дальнейшей работе элемента под нагрузкой в бетоне

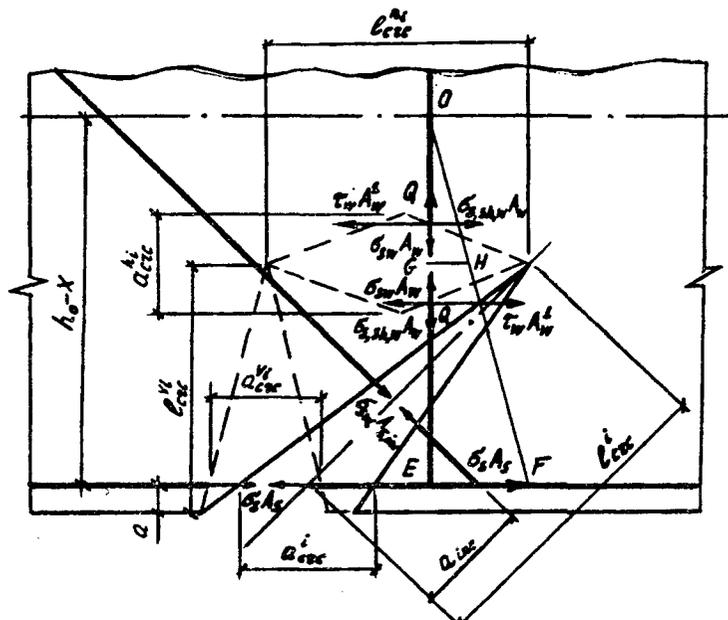


Рис. 4. Трещина типа i

уменьшенной сжатой зоны напряжение $\sigma_{b,sh}$ достигнет значения, при котором $K_{II}^{sh} = K_{IIc}^b$; возникнет новая трещина поперечного сдвига. Хотя такая новая трещина может возникнуть и тогда, когда первоначальная трещина не достигла своей критической длины: тогда образуется система горизонтальных трещин в сжатой части сечения. 3. Трещина типа i (рис. 4) — будем считать такие трещины комбинацией трещин типа v и h . Движение трещин типа i вверх является результатом нормального отрыва, а отклонение от вертикали — поперечного сдвига. Общий порядок расчета таких трещин таков: сначала определяются параметры мнимой трещины v_i , затем параметры мнимой трещины h_i и по формулам:

$$l_{cr}^i = \sqrt{(l_{cr}^{vi})^2 + (l_{cr}^{hi})^2} \quad (17)$$

$$a_{cr}^i = a_{cr}^{vi} + a_{cr}^{hi} - a_{cr}^{ii}$$

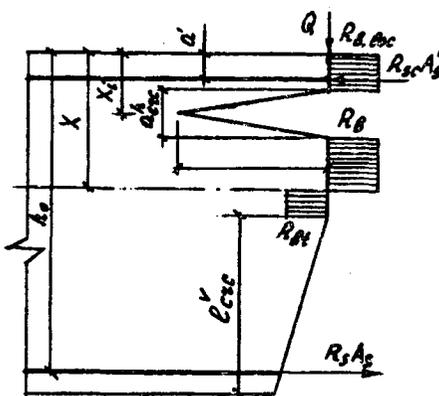


Рис. 5. Схема к расчету изгибаемого железобетонного элемента

определяются параметры наклонной трещины. Здесь мы более подробно остановимся на некоторых особенностях расчета трещин, наклонных к продольной оси элемента.

Для трещин типа i можно записать:

$$K_I^{ri} = K_I^{bi} + K_I^{si} = K_I^{bvi} + K_I^{svi} + K_I^{shi} + K_I^{sii} \quad (18)$$

$$K_{II}^{ri} = K_{II}^{bi} + K_{II}^{si} = K_{II}^{bvi} + K_{II}^{bhi} + K_{II}^{shi}$$

или в момент страгивания трещин при локальном разрушении

$$K_{Ic}^{ri} = K_{Ic}^b + K_{Ic}^{svi} + K_{Ic}^{shi} + K_{Ic}^{sii} \quad (19)$$

$$K_{IIc}^{ri} = K_{IIc}^b + K_{IIc}^{shi}$$

В отличие от трещин типа h наклонная трещина зарождается и развивается в растянутой части сечения, поэтому для мнимой горизонтальной трещины усилия в растянутой продольной арматуре увеличивают значение силы $\tau_w = A_w^1$. Если усреднить это влияние, то сила $\tau_w = A_w^1$ увеличивается на величину GH . Из подобия треугольников EFO и GHO получим

$$GH = \sigma_s A_s (h_0 - x - l_{cr}^{vi}) / (h_0 - x), \quad (20)$$

тогда для больших $\lambda_1 = l_{cr}^{vi} / 2(h - l_{cr}^i)$

$$K_{\Sigma}^{i,i} = (\sigma_{b,sh} h_w b + \sigma_s A_s (h_0 - x - x - l_{cr}^{i,i}) / (h_0 - x)) x$$

$$\sqrt{3 / (\lambda_1 l_{cr}^{i,i}) (1,13 \lambda_1 + 0,285) / b} (21)$$

Наличие отогнутых стержней, которые пересекает наклонная трещина, вносит в расчеты некоторые коррективы. Во-первых, отогнутые стержни оказывают сдерживающее влияние на развитие трещины, что учитывается в (18) и (19) коэффициентами $K_{\Sigma}^{i,i}$ и $K_{\Sigma}^{i,i}$, которые определяются по (3) или (4) при $a = a_{inc}$ и $\sigma_s A_s = \sigma_{sw} A_{s,inc}$. Во-вторых, отогнутые стержни (силы $\sigma_{sw} A_{s,inc}$) препятствуют наряду с продольной арматурой и поперечной арматурой раскрытию трещин типа i , т.е. уменьшают первоначально рассчитанную ширину трещины $a_{cr}^{i,i} + a_{cr}^{i,i}$ на величину $a_{cr}^{i,i}$. Согласно [8],

$$a_{cr}^{i,i} = 2\pi \sigma_{sw} A_{s,inc} / (b E b) \ln \left(\frac{(l_{cr}^{i,i})^2 - \sqrt{(l_{cr}^{i,i})^2 - a_{inc}^2}}{(l_{cr}^{i,i})^2 + \sqrt{(l_{cr}^{i,i})^2 - a_{inc}^2}} \right)$$

На рис. 5 показано расчетное сечение железобетонного изгибаемого элемента в предельном состоянии для случая, когда длина трещины попереч-

ного сдвига не достигла своего критического значения. При этом, как показали эксперименты, максимальная ширина раскрытия трещин поперечного сдвига может составлять 30...50% высоты сжатой зоны.

На железобетонных балках размером сечения 75x100 мм и расчетным пролетом 890 мм из бетона класса В50 с односторонним армированием от 0,8 до 2,6% в испытаниях по схеме четырехточечного изгиба с получением полностью равновесных диаграмм деформирования получено, что в стадии предразрушения, в том числе и на нисходящей ветви диаграммы деформирования в координатах $M-f$, особенно активно развиваются трещины типа h и i . Длина трещин нормального отрыва практически неизменна.

По вышеизложенным формулам выполнен расчет параметров механики разрушения, характеризующих напряженно-деформированное состояние изгибаемых железобетонных элементов. Для подтверждения возможностей разработанного подхода выполнен расчет максимальной несущей способности нормальных сечений по схеме рисунка 5 для балок с армированием 1φ10 А-III;

2φ8 А-III и 2φ10 А-III. Расчетная несущая способность этих балок составила соответственно 2062 Н·м; 2645 Н·м и 3786 Н·м при их несущей способности, рассчитанной по методике СНиП 2.03.01—84 в 2005; 2522 и 3718 Н·м. Опытные значения несущей способности: 2370; 3330 и 4470 Н·м. Совпадение опытных и теоретически подсчитанных параметров удовлетворительное.

Библиографический список

1. Саврук М.П. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами. — Киев: Наукова думка, 1988. — 620 с.
2. Tada H., Paris P.C., Irwin G.R. The stress analysis of cracks: Handbook. — Hellertown: Del Research Corp., 1973. — 35 p.
3. Hartranft R.I., Sih G.C. Alternating method applied to edge and surface crack problems // Methods of analysis and solutions of crack problem. — Leyden: Nordhoff Intern. Publ., 1973. — p. 179—238.
6. Панасюк В.В., Саврук М.П., Дацишин А.П. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках. — Киев: Наукова думка, 1976. — 444 с.
7. Саврук М.П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. — Киев: Наукова думка, 1981. — 324 с.
8. Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. — Киев: Наукова думка, 1968. — 246 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

УДК 666.94/.95:691.327:691.33

В.П. ТРАМБОВЕЦКИЙ, Ш.Т. БАБАЕВ,
кандидаты техн.наук (НИИЖБ)

Мировая тенденция использования вторичных продуктов и техногенных отходов в производстве цемента и бетона

Производство портландцемента является наиболее энергоемким процессом, требующим, например, в России около 240—260 кг усл.топлива на 1 т готового продукта. При этом около 8% топлива затрачивается на обжиг клинкера и лишь

20% — на его помол (при мокром способе производства клинкера). В связи с ежегодным удорожанием энергоносителей во всем мире предпринимаются огромные усилия на поиски путей и технологических приемов снижения энергозатрат на

производство цемента и бетона: при производстве цемента — замена части клинкера при его помоле на эквивалентное количество активных минеральных добавок, а при производстве бетона — замена части цемента на тонкодисперсные минераль-

ные вещества, проявляющие пуццолановые свойства при гидратационном твердении вяжущего в бетоне.

Высокая энергоемкость производства цемента особенно отражается на экономических показателях бетона, где около 65—70% его стоимости приходится на долю вяжущего [1]. Отметим, что в настоящее время стоимость 1 т цемента в Южной и Северной Америке составляет 90—100 долл. США, а в Европейских странах — 70—80 долл./т [2]. К концу 1993 г. за счет удорожания энергоносителей в странах СНГ средняя стоимость цемента, по сравнению с 1985 г., выросла более чем в 100-150 раз. Поэтому возникает острая необходимость использования менее энергоемких вторичных продуктов и техногенных отходов взамен части клинкера при его помоле, не ухудшающих вяжущие свойства цемента.

Если на обжиг клинкера в нашей стране затрачивается около 210—220 кг усл.топлива/т, то на сушку минеральных добавок перед помолом тепловые затраты, в зависимости от исходной влажности побочных продуктов, составляют от 6 до 15 кг усл.топлива/т. Следовательно, разумное и эффективное использование низкоэнергоемких минеральных веществ в технологии производства цемента является весомым резервом для снижения стоимости конечного продукта.

Во многих странах уже стало традицией, основанной на национальных нормативах, использование летучей золы, гранулированных доменных шлаков и других цементирующих материалов в технологии цемента и бетона [2, 3]. Этому способствует также ужесточение требований защиты окружающей среды. Все эти факторы в сочетании с высокой стоимостью цемента побуждают считать побочные продукты и вторичные техногенные материалы не как отход, а как потенциальные ресурсы дополнительного цементирующего материала.

Ниже рассматриваются эффективность и целесообразность использования этих ресурсов в технологии цемента и бетона.

Частичное использование золы-уноса в бетоне начато в Японии с 1913 г., а в США с 1930 г. Бюро мелиорации США впервые применило золу в бетоне взамен части цемента в

1930 г. на строительстве плотины "Голодная лошадь", после чего использование ее при строительстве плотин гидроэлектростанций началось по всей стране [2].

К 1989 г. общий годовой выход золы в мире составил около 400 млн. т. Бывший СССР имел наибольшее производство — 90 млн. т, затем Китай — 55 млн. т, США — 48 млн. т, Индия — 36 млн. т, Польша — 26 млн. т, Германия — 20 млн. т, Турция — 15 млн. т, Великобритания — 13 млн. т [2].

подавляющая часть золы, применяемой как при производстве цемента, так и в бетоне, представляет собой низкокалорийный (кислый) продукт, отличающийся высокой пуццоланической способностью, получаемый при сгорании антрацита или битуминозных углей.

Микросилиций — является побочным продуктом, образующимся при редуцировании высококачественного кварца углем в электродуговых печах в процессе производства ферросиликатных сплавов и силиконовых металлов. Микросилиций (силикафьюм), содержащий от 85 до 98% двуокиси аморфного кремнезема и состоящий из тонкодисперсных сферических стекловидных частиц, отбирается электрофильтром при очистке отходящих из печи газов. Средний размер частиц менее 0,1 мкм, что примерно в 20 раз меньше среднего размера частиц цемента. Относительная плотность — 2,2 г/см³, а удельная поверхность около 20—25 м²/г.

Наиболее крупным производителем микросилиция являются США (130 тыс.т в 1989 г.). Следующая страна — Норвегия (120 тыс.т в 1989 г.). Россия также является крупным производителем микросилиция, однако точные данные о его выходе отсутствуют. Общемировое производство микросилиция в целом оценивается в количестве около 1 млн т/г. В связи с весьма высокой тонкостью и большим содержанием стекловидных аморфизированных частиц микросилиций не имеет аналога по пуццоланической активности. Исследования о целесообразности использования микросилиция велись в США, начиная с 1950-х годов, однако только в конце 70-х годов была полностью доказана его высокая эффективность в бетоне. Предельно высокая удельная

поверхность микросилиция сопровождается повышенной водопотребностью при введении его в бетон, однако эта трудность преодолевается путем введения в бетонную смесь повышенной дозировки суперпластификатора. Обычно микросилиций используется в бетоне в виде шлама (пульпы).

Микросилиций является наиболее эффективным из доступных вторичных цементирующих минеральных добавок для использования в бетоне. Фактор эффективности достигает 3—4 при его сравнительно малом содержании в бетоне, вводимой с целью замещения части цемента. Это означает, что 1 кг микросилиция может заменить 3—4 кг цемента в бетоне при обеспечении той же прочности в 7 и 28-суточном возрасте. Факторы эффективности по прочности для шлаков и зол примерно одинаковы (около 0,6—0,7) на ранних стадиях набора прочности, однако они расходятся на более поздних сроках твердения бетона.

Среди шлаков цветных металлов перспективными в качестве цементирующих материалов являются отходы от производства меди, никеля и свинца. Как и доменные шлаки, эти шлаки также могут быть впущены за счет быстрого водного охлаждения. К использованию таких отходов проявляется значительный интерес в Австрии, Канаде, России, Испании. Наиболее перспективными среди них являются шлаки медеплавильной промышленности.

Интенсивное использование этих побочных продуктов в промышленности сборного и монолитного бетона не только расширяет области применения цемента и решает проблемы утилизации отходов, но также придает бетону специальные ценные свойства, которые трудно достижимы на основе чисто-клинкерного портландцемента.

Ежегодный выход золы в мире в настоящее время превышает 400 млн т, из которых только около 10% используется в качестве сырья для замены части цемента в бетоне. Прогнозы показывают, что в ближайшем будущем более 20% этих запасов будет использоваться в технологии цемента и бетона.

Влияние золы-уноса, шлака и в меньшей степени микросилиция на свойства бетонной смеси и бетона достаточно глу-

боко изучены. Некоторые наиболее характерные свойства бетонов с этими минеральными добавками описаны ниже.

Частичное замещение цемента золой и шлаком в общем случае улучшает удобоукладываемость бетонной смеси и незначительно снижает ее водопотребность. Водопотребность же бетонной смеси с микросилицием увеличивается весьма существенно, причем одно из основных преимуществ такой бетонной смеси — отсутствие водоотделения.

Замещение части цемента на золу-унос и шлак приводит к снижению тепловыделения в твердеющем бетоне и снижению риска появления температурных деструктивных процессов в массивных монолитных сооружениях; содержание микросилиция практически не изменяет тепловыделения смеси.

Рост прочности бетона, содержащего золу и шлак, зависит не только от состава смеси, но также от химического состава этих минеральных добавок. Как обычно, последние существенно замедляют рост прочности бетона в ранние сроки твердения. При использовании основных (высококальциевых) зол получение прочностей, сопоставимых с контрольным бетоном во всех возрастах, особенно при термообработке, легко достигается.

Зола-унос успешно применяется в США, Канаде и ряде европейских стран для получения высококачественных бетонов, в том числе прочностью 60 МПа и выше. В США, например, где бетонная смесь для получения высокопрочного монолитного бетона (до 80 МПа в возрасте 90 сут) поставляется предприятиями в виде товарного бетона, помимо замены части цемента золой-уносом, достигаются снижение уровня тепловыделения, замедление потери подвижности смеси и высокая прочность бетона в более поздние сроки твердения.

Результаты канадских исследований показывают, что высокая прочность (50 МПа) бетона может быть получена путем использования кислой (низкокальциевой) золы-уноса (до 40%) с введением в воду затворения суперпластификатора. Такие бетоны применяются как в монолитном строительстве, так и при производстве сборного железобетона [2].

Характер роста прочности бетона, содержащего микроси-

лиций, идентичен бетонам, содержащим золу-унос и шлак. Важное отличие состоит в том, что микросилиций является весьма активной пуццолановой добавкой, и эффект пуццолановой реакции проявляется на ранних стадиях твердения более интенсивно, чем при использовании золы-уноса.

Сопrotивление циклическому замораживанию и оттаиванию бетона на вторичных минеральных добавках сравнимо с морозостойкостью контрольного бетона. Введение рассматриваемых побочных продуктов в бетон существенно улучшает его непроницаемость и увеличивает сопротивление против агрессивных сред. Это объясняется снижением объема крупных капиллярных пор в твердеющей цементной пасте из многокомпонентного вяжущего, хотя общая пористость остается на прежнем уровне.

Использование вторичных цементирующих материалов для ограничения щелочно-кремнеземной реакции между щелочами цемента и реакционноспособными заполнителями в бетоне достаточно хорошо изучено и научно обосновано в Северной Америке. В районах, где вынужденно используются реакционноспособные заполнители в бетоне, введение около 30—40% золы-уноса или 40—50% шлака для частичной замены высокощелочного портландцемента существенно снижает объемное расширение бетона вследствие такой реакции.

Применение золы-уноса или шлака для ограничения щелочной реакции приобретает особое значение для стран, где производство низкощелочных цементов экономически трудно выполнимо. Из литературных данных следует, что бетоны, содержащие микросилиций, весьма эффективны с точки зрения нейтрализации щелочной реакции заполнителей и что всего 10% микросилиция достаточно против 30% золы-уноса и 50% шлака.

Однако использование вторичных цементирующих материалов в бетоне не лишено определенных проблем и побочных эффектов. Одна из главных проблем — однородность состава этих материалов. Кроме того, важно при использовании вторичных цементирующих материалов уделять серьезное внимание выбору режимов твердения бетона. Для обеспечения удовлетворительной

ранней и более поздней прочности бетона, низкой проницаемости и длительной сопротивляемости агрессивным средам наиболее важным представляется обеспечение условия с целью предотвращения излишнего испарения влаги на ранних стадиях набора прочности. Это особенно важно для бетонов с высоким содержанием золы-уноса и микросилиция.

Несмотря на значительный прогресс в области применения вторичных цементирующих материалов в технологии производства цемента и бетона имеется ряд вопросов, требующих дополнительного исследования. По-видимому, наиболее важными вопросами являются характеристики стеклофаз этих материалов и их влияние на пуццолановые свойства; оптимизация количества замещаемого цемента в бетоне; создание более дешевых суперпластификаторов для применения в бетонах с целью снижения исходного количества воды затворения; разработка и применение химических активаторов для шлаков и некоторых видов зол-уносов; изучение влияния новых методов помола для снижения энергозатрат на помол шлаков цветных металлов; поиск новых составов и способов производства смешанных цементов с применением вторичных цементирующих материалов; разработка нормативной документации, направленной на расширение областей применения этих материалов; накопление статистических данных по длительным деформативным характеристикам и долговечности бетонов, содержащих повышенное количество техногенных минеральных продуктов.

Экологические проблемы, связанные с вынужденным размещением минеральных побочных продуктов металлургии и энергетики в основном вблизи крупных городов, вопросы экономики энергии и ресурсов, а также высокая стоимость портландцемента диктуют цементной промышленности и промышленности монолитного и сборного железобетона необходимость все возрастающего использования в своем производстве золы-уноса, шлаков цветных металлов и микросилиция. Современные разработки в области химических добавок, особенно суперпластификаторов и комплексных модификаторов на их основе, существенно увеличат включение вторичных це-

ментирующих материалов в бетоны.

Последнее десятилетие нашего века должно знаменовать-ся появлением новых возможностей для решения поставленных проблем. Имеется уверенность, что результатом решения проблем разумного использования побочных техногенных минеральных продуктов станут более чистая окружающая среда, пониженная ресурс- и энергопотребность, более долговечный и

экономичный бетон. Кроме того, можно заключить, что бетоны высокой прочности, долговечности и с отличными эксплуатационными свойствами не могут быть произведены без использования вторичных цементирующих материалов.

Библиографический список

1. М а л и н и н а Л.А., Ф о л о м е е в А.А. Энергоемкость тяжелого бетона для сборных и монолитных конструкций.

Сер. 8. Строительство и архитектура: Обзорная информация. — 1985. — Вып. 1. — С. 49.

2. М а л х о т р а В.М. Зола-унос, силика-фьюм и зола рисовой соломки в бетоне: Обзор. Конкрет интернейшнл, Американский Институт бетона, апрель 1993, с. 23—28 (англ.).

3. Э н т и н З.Б. Химия и технология тонкомолотых многокомпонентных вяжущих. — Дисс. на соис. уч. степени д-ра техн. наук (в виде доклада). — 1993 г. — С. 48.

ТЕОРИЯ

УДК 624.071.046.2

Г.Т. ТАРАБРИН, д-р техн.наук, проф. (ВолгГТУ)

Редуктивная модель процесса растяжения хрупкого материала и вопросы расчета с полной диаграммой нагружения*

Внецентренное растяжение. К недеформируемым параллельным брускам (рис. 5), шарнирно соединенным одним своим концом с третьим недеформируемым бруском, перпендикулярным им, прикреплена деформируемая пластина, которая одним своим свободным краем вплотную примыкает к третьему брусу. На других концах параллельных брусков приложены противоположно направленные, равные друг другу сосредоточенные силы P , действия которых вызывают деформацию внецентренного растяжения пластины.

Пусть l — длина параллельных брусков, $2h$ — ширина пластины (расстояние между брусками), a — длина пластины, b — ее толщина.

Материал пластины характеризуется простейшим вариантом модели.

Задачу будем решать в предположении, что пластина находится в состоянии одномерного напряжения.

Координатную ось x совместим с осью пластины так, чтобы для точек пластины $x \in [0, a]$.

Деформация пластины ϵ по направлению действия силы P изменяется по координате x по линейному закону $\epsilon = \epsilon_{\max}x/a$, где ϵ_{\max} — деформация края пластины $x = a$, а соответствующие напряжения σ/ϵ удовлетворяют уравнение равновесия моментов

$$a \int_0^a \sigma(x) x dx = Pl. \quad (13)$$

Очевидно, что при нагрузке, вызывающей деформации, не превосходящие предела целостности ϵ_0 , конструкция будет устойчивой. Потеря устойчивости — разрушение конструкции — произойдет при нагрузке, при которой некоторая часть пластины будет находиться в состоянии нарушенной целостности.

Пусть $x = a_0$ — граница целостности, т.е. $\epsilon(a_0) = \epsilon_0$. Тогда при $x \in [0, a_0]$ имеет место соотношение (6), а при

$x \in (a_0, a)$ — соотношение (12) и $a_0 = a \epsilon_0 / \epsilon_{\max}$.

Вычислив квадратуру в (13) и перейдя к безразмерным и относительным величинам,

$$\pi = 3Pl / \epsilon_0 E a^2 b,$$

$$\xi = \epsilon_{\max} / \epsilon_0,$$

$$\beta = \epsilon_n / \epsilon_0$$

получим:

$$\pi = [1 + (\xi - 1) [1,5\beta(1 - \alpha) \cdot$$

$$(\xi + 1) + (\alpha(1 + \beta) - 1) \cdot$$

$$(1 + \xi + \xi^2) - 0,75\alpha(1 + \xi) \cdot$$

$$(1 + \xi^2) / (\beta - 1)] / \xi^2.$$

На рис. 6 показаны графики зависимости $\pi(\xi)$ при различных значениях α и частном значении $\beta = 5$.

Восходящая часть графика $\pi(\epsilon)$ соответствует значениям нагрузки P , при которых конструкция находится в состоянии устойчивого равновесия ($\Delta P > 0$

*Окончание. Начало см. в №4, 1994.

при $\Delta \epsilon_{\max} > 0$), нисходящая часть соответствует состоянию неустойчивого равновесия ($\Delta P < 0$ при $\Delta \epsilon_{\max} > 0$).

Обратим внимание на то, что состояние неустойчивого равновесия может сохраниться лишь при нагружении конструкции перемещением. В противном случае потеря устойчивости произойдет при стационарном значении ξ , вычисляем как корень уравнения $d\pi/d\xi = 0$.

Чистый изгиб. Брус прямоугольного поперечного сечения высотой $2h$ и шириной b подвергается изгибу моментом M .

Материал бруса при сжатии неограниченно сохраняет линейную деформируемость (6), а при растяжении имеет полную диаграмму (6), (12).

Будем полагать, что на всех стадиях деформирования справедливы гипотезы: 1) плоских сечений, 2) одномерного напряженного состояния, 3) равномерного распределения деформаций по ширине поперечного сечения бруса.

Согласно этому, если совместить координатную ось x с продольной осью бруса и направить координатную ось y в сторону деформаций укорочения, то закон распределения деформаций по высоте сечения запишется следующим образом:

$$\epsilon = -\epsilon_{\max} (y - y_z) / (h + y_z),$$

где ϵ_{\max} — деформация крайних растянутых волокон на линии $y = -h$, y_z — ордината волокон с нулевой деформацией.

Обозначим через y_0 ординату волокон, растянутых до предела целостности ϵ_0 . Подчинив закон распределения деформаций по высоте сечения $\epsilon(y)$ условию $\epsilon(y_0) = \epsilon_0$, будем иметь

$$y_0 = y_z - (h + y_z)\epsilon_0/\epsilon_{\max}.$$

Рассмотрим случай, когда значение изгибающего момента M таково, что в растянутой зоне образовалась область с нарушенной целостностью, т.е. область с деформациями $\epsilon > \epsilon_0$.

При поперечном изгибе нормальные напряжения в поперечном сечении бруса взаимно уравновешены

$$\int_{-h}^h \sigma(y) dy = 0.$$

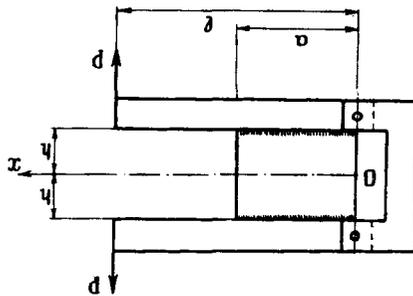


Рис. 5. Конструкция для внецентренного растяжения пластины

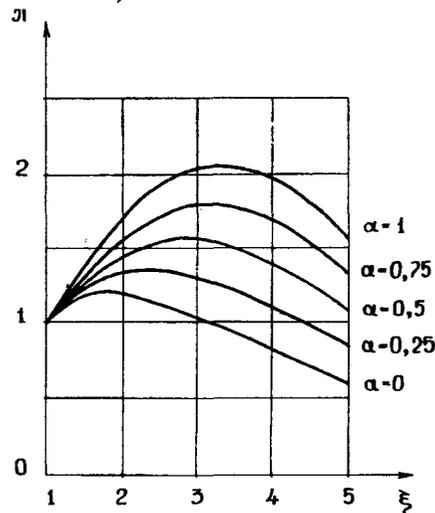


Рис. 6. График зависимости нагрузки π от максимальной деформации ξ при внецентренном растяжении пластины

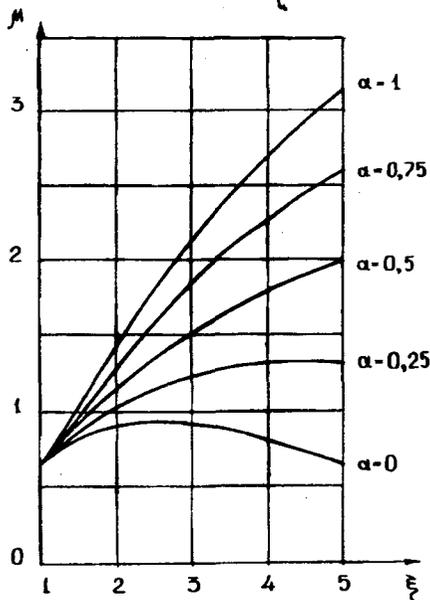


Рис. 7. График зависимости изгибающего момента μ от максимальной деформации растяжения ξ при чистом изгибе

Подставляя в это уравнение зависимости $\sigma(y)$ (6), (12) и полученное выше выражение y_0 , находим значение ординаты нулевой деформации:

$$y_z = h[\xi - \sqrt{f(\xi)}] / [\xi + \sqrt{f(\xi)}],$$

где

$$f(\xi) = 1 + 2(\xi - 1) \{ (1 - \alpha)\beta + 0,5 [\alpha(1 + \beta) - 1] \times \\ \times (\xi + 1) - (1/3)\alpha\xi \times \\ \times (1 + \xi + \xi^2) \} / (\beta - 1)$$

(здесь, как и в предыдущей задаче, $\xi = \epsilon_{\max} / \epsilon_0$, $\beta = \epsilon_n / \epsilon_0$).

Уравнение равновесия внешнего момента и момента напряжений в поперечном сечении

$$M = \int_{-h}^h \sigma(y) y dy \quad (14)$$

при переходе к безразмерным величинам

$$\mu = M / \epsilon_0 E b h^2, \quad \xi = y_z / h,$$

$$\eta = y_0 / h,$$

в результате вычисления квадратуры с учетом выражения y_z , преобразуется к виду

$$\mu = \xi \{ (1/3)(1 - \eta^3) - \\ - 0,5 \xi (1 - \eta^2) \} / (1 + \xi) - \\ - \{ \alpha \xi^2 [(1/4)(1 - \eta^4) + \\ + (2/3) \xi (1 + \eta^3) + \\ + 0,5 \xi^2 (-\eta^2)] / (1 + \\ + \xi^2) - \xi [\alpha(1 + \beta) - 1] \times \\ \times [(1/3)(1 + \eta^3) + 0,5 \xi \times \\ \times (1 - \eta^2)] / (1 + \xi) - \\ - 0,5 \beta(1 - \alpha)(1 - \eta^2) \} / \\ / (\beta - 1).$$

На рис. 7 показаны графики зависимости $\mu(\xi)$ при различных значениях α и частном значении $\beta = 5$.

Значение момента напряжений в поперечном сечении

бруса при стационарном значении ξ , представляющем собой корень уравнения $d\mu/d\xi = 0$, является критическим моментом M_k .

В процессе увеличения внешнего момента M при $M < M_k$ изгибаемый брус находится в состоянии устойчивого равновесия, при котором увеличение внешнего момента, не нарушающее записанное неравенство, приводит к новому значению момента напряжений, уравновешивающему внешний момент.

При $M > M_k$ равенство внешнего момента моменту напряжений неосуществимо, так как при переходе через $M = M_k$ брус разрушается, если внешний момент M пытаться увеличивать.

Графики $\mu(\xi)$ на рис. 7 позволяют обнаружить, что для материалов с коэффициентом упрочнения $\alpha > 0,25$ и $\beta = 5$ неравенство $M < M_k$ выполняется вплоть до начала образования на крайних растянутых волокнах магистральной трещины, что происходит при $\xi = \beta$. А это значит, что брус остается в состоянии устойчивого равновесия — сохраняет способность к восприятию увеличивающейся нагрузки — и тогда, когда часть его растянутых волокон уже разрушится, а на крайних волокнах даже зародится магистральная (проходящая по всей ширине поперечного сечения) трещина.

ВЫВОДЫ

В рамках существующих теорий механики деформируемого твердого тела задачи разрушения элементов конструкций являются незамкнутыми, что побуждает вводить различного рода условия прочности, как предельные значения напряженно-деформированного состояния, и условия предельного состояния, как условия кинематической неизменяемости.

Наличие полной диаграммы нагружения делает задачу строительной механики на прочность замкнутой, исключая, таким образом, необходимость привлечения каких-либо критериев прочности, так как сводит условие прочности к условию устойчивости равновесия внешних и внутренних сил.

Существующая теория трещин в рамках задач о концентрации напряжений относительно проблемы устойчивости трещин является незамкнутой. В качестве замыкания принимаются различного рода критерии: энергетический, силовой, деформационный.

В задаче о растяжении пластины брусками поведение пластины кинематически подобно поведению материала в устье трещины, что позволяет рассматривать эту конструкцию как идеализированную трещину.

Это дает возможность заключить, что задача устой-

чивости трещины с полной диаграммой нагружения является замкнутой и решается как задача устойчивости равновесия нагрузки и напряжения.

В настоящее время расчеты на прочность опираются на концепцию, согласно которой конструкция считается разрушившейся в момент появления первого очага разрушения.

Использование предложенной модели хрупкой среды позволяет оценить степень поврежденности элементов конструкции на всех этапах ее нагружения и принять в качестве предела несущей способности состояние конструкции, при котором в ней будут иметь место существенные разрушения, что значительно расширит ее эксплуатационные пределы.

Вопросы проектирования и создания композитных материалов, в частности таких, как железобетон, фибробетон с заданной формой нисходящей ветви диаграммы нагружения, в научной и технологической практике пока еще не получили должного развития.

Предложенная модель хрупкой среды вскрывает физическую природу образования полной диаграммы нагружения той или иной формы и поэтому может служить основанием для проектирования композитов с заданным характером разрушения.

ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

УДК 666.97.022.7:532.696.22

Г.В. ТОПИЛЬСКИЙ, канд.техн.наук, Л.Н. ФРОЛОВА,
инж. (ВНИИжелезобетон)

О безопасности пленкообразующих составов для ухода за бетоном

В Федеральной целевой комплексной научно-технической программе "Экологическая безопасность России (1993—1995 гг.)" отмечается, что "...на конференции ООН по окружающей среде (1992 г.) Россия названа в группе самых загрязненных в экологическом отно-

шении стран на планете. Как ответная реакция на ухудшающееся качество окружающей среды возрастает число заболеваний экологической этиологии, нарушается генофонд человека, увеличивается число врожденных уродств, снижается средняя продолжительность жизни. За

счет загрязнения окружающей природной среды ежегодно теряется 50 млрд.руб. (в ценах 1991 г.) только от ущерба в результате заболеваемости людей, потери производительности труда, преждевременного износа зданий и материалов".

Подобное положение дел имеет место и в строительной индустрии России, одной из немногих отраслей народного хозяйства, которая в массовом объеме утилизирует различные отходы, вторичные и побочные продукты и материалы. Патентный фонд в области строительства и стройматериалов содержит немало изобретений, основной отличительной особенностью которых является применение каких-либо отходов и побочных продуктов для достижения заданной технической цели без обоснования экологической безопасности.

Разработчики и производители новых материалов, добавок, клеев, строительных красок и т.д. до сих пор не уделяют должного внимания указанным вопросам, а органы санэпиднадзора не всегда обеспечивают жесткий контроль за соблюдением требований безопасности при постановке на производство и при применении таких материалов. В сертификатах качества, паспортах и даже в технических условиях на новые материалы часто отсутствуют обязательные сведения об их токсичности, а требования безопасности при работе с ними приводятся далеко не полностью. Не случайно в печати появляются сообщения о домах с повышенной радиацией или выделяющих токсичные газообразные продукты (формальдегид и т.д.) в воздушную среду жилых помещений, о тяжелых отравлениях или даже гибели людей, работающих с красками, содержащими особо токсичные растворители, о раздражающем действии на кожу и дыхательные пути таких добавок, как суперпластификатор С-3 [1], пенообразователь на основе окиси алкилдиметиламина, пленкообразующие материалы на органических растворителях и т.д.

Остро стоит вопрос об экологической безопасности применяемых импортных добавок и материалов строительного назначения, особенно если учесть, что в ряде зарубежных стандартов (ASTM C-309, ASTM C-156 и др.) однозначно формулируется требование о том, что "пользователь несет ответственность за соблюдение правил безопасности для здоровья, а также опробование данного состава перед использованием".

Учитывая изложенное, в настоящей работе рассмотрены токсикологические свойства

пленкообразующих материалов с учетом их вещественного состава, фактических условий применения и требований безопасности, изложенных в нормативных или сопроводительных документах на эти материалы. К таким материалам относятся лаки "этиноль", "помароль" [2] ПМ-86, ПМ-86Б, ПМ-100А и ПМ-100АМ (ТУ 26-02-1019—86), пленкообразующая эмульсия на основе нефтеполимерной смолы ВЭП-1 и ВЭП-2 (ТУ 218-БССР-68—90), водоразбавляемый пленкообразующий материал на основе латекса ВПМ (ТУ 38.306.8.24—92) и вододисперсные пленкообразующие составы ВПС-Д (ТУ 21-33-119—92) [3]. Наряду с указанными материалами рассмотрены также пленкообразующий защитный состав ПЗС ИХН (ТУ СШЖИ 1188-89), разработанный институтом нефти СО АН РФ, и импортный пленкообразующий состав на водной основе "Concig WB" [3]. Последний применяется при реконструкции взлетно-посадочных полос (ВПП) международного аэропорта "Шереметьево".

Из приведенных материалов наиболее опасными являются лаки "этиноль" и "помароль", содержащие в своем составе до 70 мас.% органических растворителей на основе токсичных ароматических углеводородов — ксилола, сольвента (смесь ксилола, толуола, триметилбензола и др.). Токсические свойства

этих растворителей [4, 5] приведены в таблице 1.

Согласно требованиям нормативных документов ("Инструкция по устройству цементно-бетонных покрытий автомобильных дорог", ВСН 139-68. Минтрансстрой, М., 1968; "Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог", ВСН 139—80. Минтрансстрой, М., 1980; СНиП 3.06.03—85 "Автомобильные дороги. Правила производства строительных работ"; СНиП 3.06.06—88 "Аэродромы. Организация, производство и приемка работ. Сооружения транспорта" и др.), работа с ПМ типа "помароль" должна производиться в спецодежде, защитных очках и противогазах или респираторах. Однако на практике эти требования не всегда соблюдаются, особенно в части защиты органов дыхания от паров токсичных растворителей. Так, при реконструкции ВПП N2 аэропорта "Домодедово" в 1980 г. один из авторов данной статьи наблюдал легкое отравление женщин, работающих на полосе с подветренной стороны машины—распределителя ПМ "помароль". В конце смены они чувствовали слабость, разбитость, некоторых из них тошнило.

Предприятия, выпускающие такие материалы, нередко нарушают правила маркировки тары для токсичных продуктов: на бочках, например, с "помаро-

Растворитель (ПМ)	ПДК _{рз} , мг/м ³	Температура вспышки, °С	Класс опасности	Воздействие на организм человека
Ксилол (лак "этиноль")	50	29	3	Наркотик. Вызывает заболевание крови, кровеносных органов, центральной нервной системы, а также кожи — экзема, дерматиты. (Подлежит изъятию из рецептур растворителей)
Сольвент ("помароль")	100	34	4	Наркотик. Пары раздражают слизистые оболочки глаз, верхних дыхательных путей и кожу. При длительном воздействии возможно заболевание кровеносных органов
Уайт-спирит ("помароль")	300	33	4	Наркотик. Действует на кожу, вызывая экзему и дерматиты

Примечание. ПДК_{рз} — предельно допустимая концентрация паров растворителя в рабочей зоне.

лем" (Дварченский КСМ, Литва) имелся только один знак опасности: "огнеопасно".

Экологическая опасность ПМ на органических растворителях усугубляется также повышенными нормами их расхода (400—600 г/м²) для ухода за бетоном. С одного квадратного метра защищаемой бетонной поверхности при формировании влагозащитной пленки испаряется, загрязняя окружающую среду, и безвозвратно теряется от 0,3 до 0,5 кг дефицитных и дорогостоящих органических растворителей. Из представленных данных следует, что пленкообразующие материалы на органических растворителях из-за токсичности, пожаро- и взрывоопасности должны подлежать изъятию из средств защиты бетона и заменяться на более безопасные и экологически чистые материалы.

К экологически опасным следует отнести и пленкообразующий защитный состав ПЗС ИХН (ТУ СШЖИ 1188-89), хотя в технических условиях он представлен как "водная эмульсия продуктов сополимеризации непредельных соединений" с пигментом. Запах этого материала, а также его способность храниться при отрицательных температурах (до -20°C) без разложения свидетельствует о том, что в его составе содержится водорастворимый органический растворитель. Тем не менее, в технических условиях на материал (см.п.3), согласованных с ГорСЭС (г. Новосибирск), нет даже требований защиты органов дыхания.

К экологически чистым и безопасным пленкообразующим материалам, выпускаемым в настоящее время опытно-промышленными партиями в России, относятся вододисперсный противоиспаряющий состав ВПС-Д [3] и водорастворимый пленкообразующий материал ВПМ.

Состав ВПС-Д не выделяет вредных паров и газов и не требует специальных мер предосторожности. Согласно заключению Московского НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Минздрава РФ (N03/ПМ-75 от 09.06.1993 г.), этот состав разрешается использовать для ухода за бетоном покрытий автомобильных дорог, аэродромов, облицовок оросительных каналов, мостовых железобетонных конструкций, в монолитном домостроении, а также для защи-

ты от обезвоживания свежесформованных сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций при энергоэкономичных способах тепловой обработки.

Латексный состав ВПМ содержит следы незаполимеризованных токсичных мономеров, которые при определенных условиях нанесения состава на бетон будут увеличивать ингаляционную опасность образующегося аэрозоля. Например, при пневматическом нанесении на изделия больших количеств ПМ ручными краскораспылителями в помещении ограниченного объема. В этом случае органы дыхания следует защищать респиратором. Другим способом снижения аэрозольной опасности является правильный выбор распылительных устройств. Безвоздушное распыление, струйный облив или окунание, в отличие от пневматического распыления, резко уменьшают или полностью исключают аэрозольное туманообразование, а также непроизводительные потери материала при нанесении ПМ на изделия.

Импортный пленкообразующий состав "Concur WB CLEAR" фирмы "Fosroc, Ltd", согласно сертификату, является продуктом на основе воды низкой токсичности. При длительном контакте он вызывает раздражение кожи, а при попадании в желудок запрещается вызывать рвоту и рекомендуется немедленно обращаться к врачу. Другим характерным свойством этого состава является быстрое пленкообразование, что может косвенно свидетельствовать о содержании в его составе органического растворителя.

Выделение указанного растворителя осуществляли методом отгонки. При этом наблюдалось совместное испарение смеси веществ, непрерывно кипящей при температурах в интервале от 99,5 до 100,5°C. Низкокипящая фракция, максимально обогащенная легколетучим органическим растворителем, имела температуру кипения 99,5°C, плотность $d = 0,995$ г/см³ и pH = 6. Изменение величины pH исходного состава и продуктов его разделения вероятно всего связано с гидролизом указанного растворителя. При величине pH исходного состава, равной 8, отогнанный растворитель имел pH = 6, а остаток воскообразных продуктов — pH = 10.

После высушивания прокаленным сульфатом натрия отогнанный растворитель имел температуру кипения 98°C, плотность $d = 0,935$ г/см³ и pH = 8. Идентификацию компонентов растворителя осуществляли с помощью хромато-масс-спектрометра "Kratos" (Англия).

Хроматограммы, снятые после прямого ввода пробы растворителя в ионный источник при начальной температуре 70°C и скорости ее увеличения 30°C/мин, а также при вводе пробы в колонку, показали наличие в исследуемом растворителе смеси нескольких компонентов, что подтверждено анализом масс-спектров, снятых при различных температурах. С помощью банка данных ЭВМ масс-спектрометра предварительно определены три основных компонента, входящие в состав растворителя: дициклогексилламин с молекулярной массой (ММ) 181, хладон 3-бром-3, 3-дифтор, — 1 пропен (ММ-156) и, возможно, пропионитрил с ММ = 55 [6]. Все эти продукты токсичны [7].

Уточнение состава компонентов указанного растворителя продолжается.

ВЫВОДЫ

1. Экологической безопасности пленкообразующих составов для ухода за бетоном следует уделять первостепенное внимание. Работа с опасными составами, даже не вызывая острых отравлений людей, может приводить к долговременным негативным последствиям для их здоровья.

2. Для повышения экологической безопасности применяемых пленкообразующих составов следует ввести обязательную их экологическую сертификацию, особенно составов импортного производства.

Библиографический список

1. Афанасьева В.А. Магнитная обработка воды при производстве сборного железобетона // Бетон и железобетон. — 1993. — N11. — С. 5—6.
2. Пинус Э.Р., Фабрикантов Г.Н. Пленкообразующие материалы для ухода за бетоном // Бетон и железобетон. — 1977. — N7. — С. 20—21.
3. Топильский Г.В., Бочаров В.В., Баранов В.П., Артман М.М., Шейнин А.М., Эккель С.В. Эффективный и экологически чистый пленкообразующий состав для ухода за бетоном

* В экспериментальных исследованиях приняла участие канд.хим.наук Н.А. Харизоменова

//Бетон и железобетон. — 1993. — №8. — С. 17—20.

4. Ярмоленко Н.Г., Искра Л.И. Справочник по гидроизоляционным материалам для строительства. —

Киев: Будівельник, 1979. — 159 с.

5. Вредные вещества в промышленности: Справочник. — Л.: Химия, 1976. — Т. I. — 590 с.

6. Рабинович В.А., Хаявин З.Я.

Краткий химический справочник. — Л.: Химия, 1978. — 392 с.

7. Вредные вещества в промышленности: Справочник. — Л.: Химия, 1976. — Т. 2. — 624 с.

ИНФОРМАЦИЯ

Конференция Ассоциации "Железобетон"

22—23 февраля 1994 г. в НИИЖБе Госстроя РФ состоялась 1-я конференция межрегиональной Ассоциации "Железобетон", посвященная проблеме материалоемкости, технологичности и долговечности железобетона. Наш журнал на своих страницах рассказывал о задачах Ассоциации*, основных положениях ее устава, а также привел программу конференции.

1-я конференция Ассоциации преследовала своей целью — формирование политики в деле совершенствования бетона и железобетона, распространение информации о последних научных и практических достижениях, координацию научных исследований и международного научно-технического сотрудничества. Началу конференции предшествовала большая организационная работа, опиравшаяся на существующие подразделения (филиалы, рабочие группы) Национального Комитета международной федерации преднапряженного железобетона (ФИП). В результате на конференции присутствовали представители 20 коллективных членов и около 100 индивидуальных ее членов.

К конференции был подготовлен и первый сборник информационного материалов Ассоциации (более 50 с.) за 1993 г., который содержит список действующих нормативных документов по бетону и железобетону, перечень докладов

двух прошедших международных конференций — по высокопрочному бетону и бетону-2000, бюллетени ФИП за 1993 г. и др.

Все вышеперечисленное дало положительные результаты: на конференции присутствовало 160 чел. из многих городов России и стран СНГ, представители 38 организаций, было заслушано 27 докладов. Конференция утвердила избранный оргкомитетом Совет Ассоциации (Михайлов К.В., Волков Ю.С., Денисов Г.А., Забегаев А.В., Залесов А.С., Крылов Б.А., Мадатян С.А., Мамедов Т.И., Маркаров Н.А., Мурашкин Г.В., Серых Р.Л., Шоршнев Г.Н.), который из своего состава избрал Президиум. Президентом Ассоциации избран Михайлов К.В., вице-президентом — Мамедов Т.И., ученым секретарем — Маркаров Н.А. Было также принято решение о том, что председатели региональных отделений (филиалов) Ассоциации входят в состав Совета. Председателем ревизионной комиссии избран Сасонко Л.В.

Конференция приняла ряд решений по вопросам дальнейшей деятельности Ассоциации, а также развития важнейших проблем в области бетона и железобетона. Намечается создание филиалов Ассоциации в различных регионах России (гг. Челябинск, Владивосток, Новосибирск и др.). Предполагается, что в течение 1994 г. будет образовано до 12—15 таких подразделений, а число коллективных и индивидуальных членов увеличится до 40—60 и 400—500 соответ-

ственно.

Была отмечена целесообразность активного участия специалистов России в работе международных организаций ФИП, ЕКБ и РИЛЕМ, которые аккумулируют мировой опыт строительства из бетона и железобетона.

Членам Ассоциации рекомендовано оказывать всемерное содействие журналу "Бетон и железобетон", принять участие в выполнении основных научно-технических программ по строительству (Стройпрогресс, Жилище и др.).

Заслушанные и обсужденные на конференции доклады убедительно говорят о том, что бетон и железобетон на длительное время останутся основными строительными материалами в народном хозяйстве. Однако многократный рост стоимости энергоносителей (угля, нефтепродуктов, электроэнергии) и всех видов транспорта выдвигают на первый план проблему максимального использования для бетона отходов промышленности (зол, шлаков и др.) и местных строительных материалов.

Необходимо расширить разработку и применение химических методов ускорения твердения бетона в монолитных и сборных конструкциях, в том числе за счет использования напрягающего цемента.

Дефицит легирующих добавок (в первую очередь, ферромарганца) требует уделять больше внимания арматуре из холоднообработанной стали.

Необходимо добиваться более взвешенного соотношения между монолитным и сборным строительством за счет интен-

*"Бетон и железобетон", №10, 1993 г.

**"Бетон и железобетон", №12, 1993 г.

сивного совершенствования технологии изготовления конструкций из монолитного бетона и железобетона, развития сборно-монолитных конструктивных решений.

При производстве предварительно напряженных конструкций следует шире использовать механические и химические способы натяжения арматуры.

В числе актуальных остро стоит вопрос повышения качества и долговечности бетона и конструк-

ций на его основе, в первую очередь, за счет применения различных модификаторов.

Значительно шире следует применять в ограждающих конструкциях зданий различные виды ячеистых бетонов.

Конференция просила Госстрой РФ в первую очередь финансировать научно-исследовательские разработки по указанным выше направлениям.

Авторам докладов рекомендовано подготовить статьи по их

материалам, а редакции журнала "Бетон и железобетон" опубликовать их в текущем году.

Президент Ассоциации "ЖЕЛЕЗОБЕТОН", д-р техн. наук, проф. К.В. МИХАЙЛОВ

Ученый секретарь, д-р техн. наук, проф. Н.А. МАРКАРОВ

Контактный телефон Ассоциации 184-88-91

Внимание наших подписчиков и читателей!

В ряду отраслевой периодики строительного профиля видное место занимает научно-технический и производственный журнал "Бетон и железобетон".

Издаваемый с апреля 1955 г., он регулярно знакомит специалистов с результатами исследований и разработкой теории расчета и конструктивных систем бетонных и железобетонных зданий и сооружений, освещает проблемы бетонирования, проектирования, заводского производства и монтажа изделий и конструкций.

На страницах журнала выступают крупные ученые и специалисты, известные в нашей стране и за рубежом. В планах редакции на 1995 г. намечены публикации о новых эффективных технологиях изготовления материалов и конструкций, найдут отражение проблемы энергосбережения в жилых и промышленных зданиях различных конструктивных систем, будут обнародованы и обсуждены новые нормы проектирования и Российские стандарты по бетону и

железобетону. Вопросы экономики, экологии, утилизации и захоронения отходов займут свое достойное место в публикациях журнала будущего года. Мы также намерены продолжить информировать читателей о передовом зарубежном опыте, что в условиях существенного сокращения объема собственных исследований должно представить особый интерес для российских ученых и специалистов.

Как и прежде, журнал предлагает свои страницы для публикации рекламы и объявлений, рекламных статей и материалов.

Обращаем внимание уважаемых подписчиков на то, что подписка на наш журнал на I полугодие 1995 г. будет осуществляться по Каталогу Центрального Агентства зарубежных изданий (ЦАЗИ), а не по Каталогу Роспечати, как было прежде. Каталог ЦАЗИ имеется во всех отделениях связи. Подписной индекс журнала, выходящего один раз в два месяца, прежний — 70050.

Редакция "Б и ЖБ"

Редакционная коллегия: В.И. Агаджанов, Ю.М. Баженов, В.Г. Батраков, В.Н. Бондаренко, Ю.Г. Вострокнутов, В.В. Гранев, В.Г. Довжик, Ф.А. Иссерс, Б.И. Кормилицын, Р.Л. Маилян, К.В. Михайлов, Т.М. Пецольд, С.И. Полтавцев, В.А. Рахманов, И.Ф. Руденко, Р.Л. Серых (главный редактор), В.П. Сизов, В.М. Скубко, Ю.Г. Хаютин, А.А. Шлыков (зам.главного редактора), Е.Н. Щербаков

Технический редактор *Р.Я. Лаврентьева* Корректор *Н.Я. Шатерникова*

Подписано в печать 19.08.94 Формат 60x90 1/8 Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная.
Усл.печл. 3,92. Усл.кр.-отт. 4,92. Уч.издл. 5,2. Тираж 1920 экз. Заказ № 1508

Адрес редакции:

Москва, Георгиевский пер., д. 1, строение 3, 3-этаж

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

Тел. 292-62-05

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

ВНИИЖЕЛЕЗОБЕТОН

предлагает для внедрения

ВОДОДИСПЕРСНЫЙ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЙ СОСТАВ-СМАЗКУ "ВПС-СМ"

Предназначен для ухода за бетоном на ранних стадиях твердения и для смазки металлоформ при горизонтальном формовании. Смазку готовят двух-трехкратным разбавлением состава водой.

Наносится распылением на открытую поверхность бетона свежесформованных изделий; распылением, щетками или кистью — на поверхность металлоформ.

Производится на основе побочных продуктов нефтехимии. Нетоксичен и экологически безопасен. Транспортируется в цистернах и бочках.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Условная вязкость при 20°C по ВЗ-4, с12—18
pH водной вытяжки	7—9
Расход для ухода за бетоном, г/м ²	250—400
Расход для смазки металлоформ, г/м ²25—50
Стабильность, мес 12

ВПС-СМ обеспечивает:

- комплексное использование состава в производстве сборного железобетона;
- полную заводскую готовность и высокое качество изделий;
- замену пропаривания энергосберегающими способами тепловой обработки;
- сохранение 95—98% воды затворения в бетоне при воздушно-сухом, индукционном, инфракрасном или гелиопрогреве;
- снижение затрат на приготовление смазки, чистку форм и доводку изделий.

Предлагается: техническая документация, техническая помощь при внедрении, поставка ВПС-СМ.

Обращаться:

111524 Москва, ул. Плеханова, 7, тел.(095) 306-34-11, 306-33-46
Топильский Г.В., Фролова Л.Н.



МГП "СТРОЙПРИБОР"
АО "ПАРТНЕР"



**ИЗГОТОВЛЕНИЕ, ПОСТАВКА, ВНЕДРЕНИЕ, СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ
МЫ ОСНАСТИМ ВАШУ ЛАБОРАТОРИЮ**

*Выполнение работ по внедрению на предприятиях стройиндустрии
средств АСУ ТП, приборов неразрушающего контроля*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР -"БЕТОН22" - предназначен для контроля прочности бетона в готовых железобетонных изделиях и конструкциях. Масса прибора 1 кг. Прибор снабжен приспособлением для поверхностного прозвучивания с "сухим" контактом. Использован при обследовании конструкций "Белого дома"

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЕТА РАСХОДА ЦЕМЕНТА "УРЦ" подключается к дозировочно-смесительным узлам и установкам периодического действия, оснащенным дозаторами АДЦ-1200М, АД-600-2БЦ (ДБЦ-600) и аналогичными. По заказу комплектуется УСТРОЙСТВОМ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ОПЕРАТОРА, фиксирующим в памяти до 254 последовательных индивидуальных доз.

УРОВНЕМЕР Ц 020 предназначен для получения непрерывной наглядной информации о количестве цемента в силосе. Диапазон высоты силосов от 3 до 30 м. Предел допускаемой погрешности измерения уровня цемента 5%.

ВЫПУСКАЕМ И ВНЕДРЯЕМ

системы контроля и регулирования режима тепловлажностной обработки железобетонных изделий и конструкций

ультразвуковые приборы специального назначения

системы автоматического управления дозированием компонентов бетонной смеси

весы автомобильные и железнодорожные

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

111524 Москва, ул. Плеханова 7, МГП "Стройприбор" или 109428, Москва, Рязанский пр., 30/15, АО "Партнер"

Телефоны: 176-7206, 176-3486, 371-2257
Телетайпы: 207542 СТАБЕТ, 207754 СИЛА
ФАКС 176-2998, 371-2257