

70  
ЛЕТ

НИИЖБ

БЕТОН  
**БЖБ**

И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

№5  
октябрь  
1997

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Вологодская областная универсальная научная библиотека  
[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

1997. №5

## **Коллективу и ветеранам Государственного научного центра Российской Федерации «Строительство»!**

В ноябре текущего года исполняется 70 лет со дня образования Государственного института сооружений (ГИС), от которого ведут свою историю институты ЦНИИСК, НИИЖБ, НИИОСП и Опытный завод, объединенные ныне в Государственный научный Центр РФ «Строительство».

Трудами работавших в ГИСе выдающихся ученых и специалистов Г.Б. Красина, Н.С. Стрелецкого, А.Ф. Лолейта, В.М. Келдыша, А.А. Гвоздева, В.В. Михайлова и многих других были заложены основы отечественной строительной науки.

За прошедшие годы в отрасли сформировались многочисленные научные школы, коллективы исследователей и разработчиков, завоевавшие мировое признание и авторитет в области теории расчета и проектирования железобетонных, металлических, каменных и деревянных конструкций зданий и сооружений, обеспечения их прочности, надежности и долговечности при различных воздействиях, устройства оснований, фундаментов и подземных сооружений.

Велики заслуги ученых и специалистов Центра в научно-техническом обеспечении промышленного, сельскохозяйственного, транспортного, жилищно-гражданского строительства, формировании его нормативной базы, создании материалов и конструкций новых поколений, которые были реализованы в уникальных объектах, построенных у нас в стране и за рубежом.

В Центре прошли научную подготовку тысячи специалистов высшей квалификации, работающие в различных организациях в России и за ее пределами.

Уверен, что высокий авторитет Центра, его славные традиции позволят обеспечить решение задач по переводу строительства на ресурсо-энергосберегающий уровень базовых наукоемких технологий XXI века, разработке и использованию принципиально новых экологически чистых материалов и конструкций, повышению конкурентоспособности отечественной строительной продукции.

Поздравляю всех ученых, специалистов, работников ГНЦ РФ «Строительство» с юбилеем, желаю здоровья, творческой активности, успешной работы и благополучия!



Министр Российской Федерации,  
Председатель Госстроя России  
Е.В. Басин

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

5 (488)

Октябрь 1997

Издается с апреля 1955 г.

Учредители:

НИИЖБ, ВНИИжелезобетон, АК "Полимод"

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Михайлов К.В., Звездов А.И., Серых Р.Л. 70-летие НИИЖБа</i>	2
<i>Гусев Б.В., Малинина Л.А., Щеплыкина Т.П. Экологические проблемы бетонов с техногенными отходами</i>	5
<i>Чиненков Ю.В., Ярмаковский В.Н. Легкие бетоны и конструкции из них</i>	8
<i>Иссерс Ф.А., Зикеев Л.Н. Исследование и разработка предварительно напряженных конструкций</i>	11
<i>Мартиросов Г.Н., Гиплевич М.Б., Лазарев А.Д. Эффективные непрерывно армированные конструкции и технология их изготовления</i>	15
<i>Маркаров Н.А. Преднапряженные системы с натяжением арматуры в процессе монтажа зданий</i>	18
<i>Клевцов В.А., Коровин Н.Н. Разработка, исследование, диагностика и усиление железобетонных конструкций</i>	21
<i>Звездов А.И., Будагянц Л.И., Титова Л.А. Регулируемое расширение бетона — реальный путь повышения эффективности железобетонных конструкций</i>	23
<i>Шугаев В.В. Развитие расчета железобетонных оболочек на основе метода предельного равновесия</i>	27
<i>Залесов А.С., Чистяков Е.А. Новые методы расчета железобетонных элементов по нормальным сечениям на основе деформационной расчетной модели</i>	31
<i>Жуков В.В. Огнестойкость железобетонных конструкций и жаростойкие бетоны</i>	34
<i>Гузев Е.А. Механика разрушения в оценке долговечности бетона</i>	36
<i>Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Батраков В.Г. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01</i>	38
<i>Ухова Т.А., Нагашибаев Г.К. Неавтоклавный поробетон для однослойных ограждающих конструкций</i>	41
<i>Милованов А.Ф. Влияние температуры на свойства арматуры</i>	43
<i>Волгушев А.Н. Сернос вяжущее и композиции на его основе</i>	46



Москва

Издательство  
литературы  
по строительству

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

© Стройиздат, журнал "Бетон и железобетон", 1997

# 70-летие НИИЖБа

Первый научно-исследовательский институт по строительству появился в нашей стране в 1927 г., когда по решению правительства в Москве был создан Государственный научно-экспериментальный институт гражданских, промышленных и инженерных сооружений (ГИС).

За прошедшие 70 лет, по мере развития капитального строительства и возникновения новых задач перед строительной наукой, институт неоднократно реорганизовывался, менял название и подчиненность. В 1931 г. ГИС был преобразован во Всесоюзный научно-исследовательский институт промышленных, гражданских и инженерных сооружений (ВИС) и из него выделились подразделения, на основании которых были созданы институты Фундаментстрой и Гипрооргстрой. В 1932 г. ВИС был переименован в Центральный научно-исследовательский институт промышленных сооружений (ЦНИПС) и вошел в систему Минстроя, а затем Минтяжстроя СССР. Этот институт просуществовал 25 лет и многое сделал для повышения технического уровня отечественного капитального строительства.

В 1957 г. была создана Академия строительства и архитектуры СССР, в состав которой вошел ЦНИПС. Принятая структура Академии привела к разукрупнению последнего и появлению на его базе Научно-исследовательского института бетона и железобетона (НИИЖБ) и Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций (ЦНИИСК), которые стали крупнейшими научными организациями Академии. Создание НИИЖБа было продиктовано велением времени, так как бетон и железобетон заняли ведущее место в капитальном строительстве страны.

До 1945 г. лаборатории ЦНИПСа были разбросаны по городу и располагались в непригодных для нормальной работы помещениях. Для ускоренного развития строительной науки назрела необходимость создания современной экспериментальной базы. По решению правительства на Рязанском проспекте Москвы развернулось строительство научного городка для размещения институтов НИИЖБ, ЦНИИСК и НИИОСП. В сжатые сроки были возведены крупные лабораторно-производственные корпуса, оснащенные современным испы-

тательным оборудованием, были созданы условия для проведения крупномасштабных экспериментов.

НИИЖБ быстро развивался, он пережил самоликвидацию АСИА СССР в 1964 г. и появление в 1993 г. новой Российской Академии архитектуры и строительных наук (РААСН). В настоящее время НИИЖБ, совместно с ЦНИИСКом и НИИОСПом, входит в состав Государственного научного Центра Российской Федерации (ГНЦ РФ) "Строительство", где и встречает свое 70-летие.

За этот большой период времени коллектив института выполнил огромный комплекс научных исследований, существенно продвинувших наши знания в области бетона и железобетона, способствовавших разработке и широкому применению новых материалов и конструкций в производстве. Полученный от работ НИИЖБа экономический эффект трудно переоценить, так как основная нормативная документация по проектированию железобетонных конструкций зданий и сооружений, а также система государственных стандартов на бетоны, арматурные стали и изделия были созданы именно здесь.

Ниже в краткой форме изложены основные направления выполненных в НИИЖБе исследований и названы их ведущие исполнители.

Развитие работ по теории железобетона началось в институте в 1931 г. с проверки предложения А.Ф.Лолейта отказаться от расчета железобетонных конструкций по допускаемым напряжениям и перейти к расчету прочности по стадии разрушения с использованием нормируемого коэффициента запаса. Экспериментальная проверка и дальнейшее развитие этого epochального предложения были выполнены под руководством А.А.Гвоздева группой молодых исследователей, которые впоследствии стали крупными учеными (С.А.Дмитриев, М.С.Борисанский и др.). В 1938 г. появились новые нормы проектирования железобетонных конструкций, основанные на расчете по разрушающим усилиям. В.И.Мурашевым была разработана теория расчета появления и раскрытия трещин в изгибаемых конструкциях, что позволило решить проблему определения их жесткости. В последующие годы ученые института обогатили теорию железобетона и методы расчета конструкций многими важными до-

стижениями. Среди них теория расчета прочности по методу предельного равновесия, расчет по двум предельным состояниям обычных и предварительно напряженных конструкций, нормы проектирования бетонных и железобетонных конструкций (постоянно обогащаемые), методика расчета статически неопределимых конструкций и др. (А.А.Гвоздев, С.М.Крылов, Н.И.Карпенко, А.С.Залесов и др.).

Проблема развития сборных железобетонных конструкций постоянно находилась в поле зрения института (А.П.Васильев и др.). В первые годы разрабатывались в основном конструкции для промышленных зданий (фундаменты, колонны, плиты, балки, фермы), и только в пятидесятые годы сборный железобетон получил массовое применение в гражданском строительстве.

В 1954 г. начался ускоренный рост объемов использования обширной номенклатуры железобетонных конструкций в стране. Резко возросла необходимость создания новых конструкций, для изготовления которых надо было иметь новые виды бетонов и арматурных сталей. Заводское производство железобетонных конструкций выдвинуло проблему их технологичности на передний план.

Разработка метода предварительного напряжения арматуры позволила существенно улучшить экономические показатели сборных железобетонных конструкций и расширить области их применения (В.В.Михайлов, Г.И.Бердичевский, Н.А.Маркаров, Ф.А.Иссерс и др.). Совместно с ведущими проектными организациями были созданы и экспериментально проверены сборные предварительно напряженные железобетонные конструкции для различных зданий и сооружений, а также элементы спецжелезобетона (сваи, трубы, опоры, шпалы, виноградные стойки).

Теоретические работы по оболочкам начались еще в первые годы существования института. Всесторонние исследования пространственных железобетонных, армоцементных и фиброармированных конструкций выполнены за последующие годы под руководством Г.К.Хайдукова, И.Г.Людковского и В.В.Шугаева.

Естественно, что вопросы бетоноведения всегда были в центре внимания института. Созданная в 1932 г. лаборатория бетона под руководством Б.Г.Скрамтаева вела исследования по следующей тематике: методы подбора состава бетона и изучение его свойств, применение шлаков в бетонах, влияние низких температур и коррозия бетона, создание кислотоупорного и жаростойкого бетонов

(В.М.Москвин, К.Д.Некрасов, Г.Н.Сиверцев, А.Е.Десов, С.А.Миронов, В.М.Медведев, И.М.Френкель, К.Г.Красильникова и др.). Все основополагающие проблемы в области бетоноведения продолжают развивать Б.А.Крылов, Л.А.Малинина, А.В.Лагойда. Особые успехи были достигнуты в разработке и исследовании ряда модификаторов, в том числе суперпластификатора С-3 (В.Г.Батраков), применение которых позволяет радикально усовершенствовать технологию бетонов на стройплощадке и в заводских условиях, повысить прочность бетонов и снизить расход цемента. Важные исследования были выполнены по ускоренному твердению монолитного и сборного железобетона.

Одним из реальных способов уменьшения собственного веса железобетонных конструкций является применение бетонов на различных пористых заполнителях и поризация бетонной смеси. Еще в составе ГИСа под руководством Е.В.Костырко были выполнены работы по созданию керамзита и бетона на его основе. В дальнейшем обширные исследования различных легких бетонов и конструкций из них проводились Н.А.Поповым, Н.А.Корневым, Г.А.Бужевичем, Ю.В.Чиненковым, И.Е.Путляевым и другими, что дало возможность широко применять легкобетонные конструкции в гражданском и промышленном строительстве.

Для ограждающих конструкций зданий весьма эффективными оказались ячеистобетонные конструкции. В институте основное внимание уделялось разработке и изучению сборных конструкций из ячеистых бетонов автоклавного твердения с использованием известково-цементных вяжущих (И.Т.Кудряшов, А.Т.Баранов, В.В.Макаричев и др.). В последние годы были организованы исследования ячеистого бетона неавтоклавного твердения для применения в монолитном строительстве.

Развитие объемов и расширение номенклатуры железобетонных конструкций выдвинули проблему создания сортамента новых арматурных сталей, которая решалась совместно с организациями черной металлургии. Кроме горячекатаной арматурной стали периодического профиля, были разработаны и начали производить холоднодеформированную высокопрочную проволоку и арматурные канаты, термически упрочненную стержневую арматуру. В институте проводились комплексные исследования всех видов арматурных сталей, их унификация и стандартизация (Н.М.Мулин, К.В.Михайлов, С.А.Мадятян и др.). На базе широкого применения электросварки были предложены принципами

ально новые формы армирования и виды оборудования.

С середины пятидесятых годов в стране вернулись работы по созданию практически с нуля мощной, современной промышленности сборного железобетона. При разработке проектов высокомеханизированных технологических линий для изготовления железобетонных и предварительно напряженных изделий возникло много вопросов, к решению которых был привлечен институт. В НИИЖБе была организована лаборатория по заводской технологии железобетонных изделий, сотрудники которой выполнили важные исследования, использованные в проектах новых заводов (Б.В.Гусев, А.А.Фоломеев, И.Ф.Руденко и др.). К этому времени важное значение приобрели вопросы экономики бетона и железобетона, особенно для определения перспективы их развития, получившие отражение в тематике института (В.Г.Михайлов, В.И.Агаджанов).

Исследования процессов коррозии бетона, арматуры и железобетонных конструкций в различных условиях эксплуатации все годы занимают видное место в деятельности института. Созданная лаборатория коррозии была по численности наиболее крупной в НИИЖБе; в ней велись глубокие исследования по широкому спектру вопросов (В.М.Москвин, Ф.М.Иванов, С.Н.Алексеев и др.). В последнее время особое внимание уделяется проблеме долговечности бетонных и железобетонных конструкций с учетом накопленных данных о поведении различных сооружений (Е.А.Гузеев, А.М.Подвальный, В.Ф.Степанова).

Проблема поведения железобетонных конструкций в условиях экстремальных эксплуатационных температур и при пожаре постоянно присутствовала в тематике института. Для различных тепловых агрегатов промышленности были предложены специальные жаростойкие бетоны и конструкции из них (В.И.Мурашов, К.Д.Некрасов, А.Ф.Милованов, В.В.Жуков и др.).

В институте были созданы и всесторонне изучены различные виды полимербетонов с высокой стойкостью против агрессии, разработаны и использованы на практике полимербетонные конструкции (Н.А.Мощанский, В.В.Патуроев и др.). В последнее время важной народнохозяйственной проблемой стала реконструкция существующих зданий и сооружений, оценка их состояния и способы усиления; возникла необходимость организовать в инс-

титуте комплекс исследований по этой тематике, которые успешно развиваются (В.А.Клевцов и др.).

Выполняя обязанности головной организации, НИИЖБ осуществлял координацию научно-исследовательских работ в области бетона и железобетона, проводимых во многих научных организациях и на кафедрах высших учебных заведений. Полученные результаты исследований институт доводит до сведения и руководства широкого круга специалистов, составляя нормы проектирования, стандарты и другие нормативные документы, а также издавая сборники трудов и публикуя статьи в технических журналах.

Разработки института завоевали всеобщее признание, его ведущие специалисты систематически выступают с докладами на представительных конференциях, активно участвуют в деятельности пяти международных научно-технических организаций, за успешную работу в которых ряд сотрудников удостоены почетных медалей. Коллектив института награжден орденом Трудового Красного Знамени, дипломами Правительства СССР, переходящим Красным Знаменем. Ученые института принимали участие в создании и работе АСиА СССР и РААСН в качестве учредителей и избранных членов.

В условиях проведения в нашей стране широкомасштабных экономических реформ институту в последние годы пришлось существенно сократить численность, прекратить сложные лабораторные испытания крупноразмерных конструкций. Резкое уменьшение бюджетного финансирования заставило отказаться от многих фундаментальных исследований и основное внимание оставшегося коллектива направить на работы по хозяйственным договорам, которые обычно ориентированы на решение отдельных текущих вопросов строительной практики.

В настоящее время в НИИЖБе работают 28 профессоров, докторов технических наук и 89 кандидатов технических наук. Среди них 17 Лауреатов отечественных премий и 7 Заслуженных деятелей науки и техники России. Несомненно, что с такими силами институт переживет кризисную ситуацию и в обновленном народном хозяйстве сохранит лидирующее место в строительной науке.

Бетон и железобетон являются и в обозримом будущем останутся основными материалами в строительстве, и их постоянное совершенствование необходимо для развития экономики страны.

К.В.Михайлов, А.И.Звездов, Р.Л.Серых

## Экологические проблемы бетонов с техногенными отходами

Во всем мире уделяется большое внимание губительным воздействиям промышленности, нарушающим экологическое равновесие в природе [1]. Современная экология разделилась на множество направлений. Возникла строительная экология, одной из задач которой является утилизация отходов промышленности, которые, накапливаясь в отвалах, отчуждают огромные земельные площади и увеличивают техногенную нагрузку на окружающую среду. Промышленность строительных материалов занимает особое место при рассмотрении данного вопроса, так как именно она на сегодня является единственной отраслью, которая уже сейчас способна широко и эффективно использовать отходы промышленности, решая при этом проблемы ресурсосбережения в строительстве и охраны окружающей среды.

Исторически справедливо вспомнить, что в решении данной проблемы принимали активное участие ведущие ученые ГИСа, ЦНИПСа, НИИЖБа. Так под руководством Г.Н.Сиверцева были развернуты работы над "пробужденным" бетоном, получаемым в результате механо-химической активации металлургических шлаков. Исследования по применению зол ТЭЦ осуществляли многие отечественные ученые. Проведенные в довоенные годы под руководством Н.А.Корнева исследования позволили строителям Уральского алюминиевого комбината в г.Каменск-Уральский отказаться от привозного щебня и песка и начать изготовление изделий из местной золы и шлаков ТЭС. По рекомендациям ЦНИПСа впервые в стране был организован выпуск сплошных однослойных плит перекрытий из бетона на шлаках Каширской ГРЭС. В результате

этих поисков были заложены фундаментальные основы производства портландцемента и бетонов с минеральными добавками природного и техногенного происхождения, а также разработана нормативно-техническая база использования промышленных отходов в строительстве.

В то же время крупнотоннажные отходы, представляя собой ценное сырье, могут содержать тяжелые металлы, токсичные и канцерогенные вещества, наличие которых в них до последнего времени практически не уделялось внимания. Только сравнительно недавно благодаря выходу ГОСТ 30108-94 стали контролировать радиоактивность техногенных отходов, а также выделения газа радона из строительных материалов.

Вместе с тем отходы могут быть успешно утилизированы лишь в случае, если будут учитываться не только их технологические свойства и технико-экономические показатели использования их в строительстве, но и эколого-гигиенические свойства как отходов, так и строительных материалов, получаемых на их основе. Это позволит исключить вторичное загрязнение среды обитания и обеспечит получение экологически чистого жилья.

В последнее время довольно часто используются понятия "экологически чистый материал", "экологически чистое жилье". Основными руководящими документами для эколого-гигиенической оценки материала или среды являются действующие предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ для различных сред. Можно считать, что если выделение экологически вредных веществ из материала не превышает ПДК, материал или здание являются экологически чистыми.

Решение вопросов, связанных с эколого-гигиенической безопасностью жилища, в настоящее время имеет приоритетное значение.

Одним из источников загрязнения жилых и общественных зданий являются различные виды строительных материалов, в том числе полимерные, которые широко применяются в строительстве. Во многих помещениях содержание вредных веществ превышает гигиенические нормативы в 2—5 раз. В настоящее время наиболее полно изучены эколого-гигиенические свойства полимерных строительных материалов и практически отсутствуют такого рода данные по материалам на основе неорганических веществ, в том числе с содержанием отходов промышленности.

В соответствии с постановлением санэпиднадзора от 05.01.1993 г., с 1998 г. вся строительная продукция должна выпускаться и применяться только при наличии санитарно-гигиенического сертификата, обязательным требованием которого является оценка радиоактивности строительных материалов. Что же касается оценки загрязнения промышленных отходов токсичными соединениями, то данный вопрос находится в начальной стадии изучения. Следует обратить внимание на важность объективного определения классов опасности промышленных отходов и строительных материалов. Необоснованное завышение, а также занижение данного показателя в первом случае усложнит и сократит объемы использования отходов, во втором — может представлять опасность для здоровья человека и охраны окружающей среды.

Совместно с Институтом экологии человека и гигиены окру-

Вид отхода	Валовое содержание тяжелых металлов, мг/кг										
	алюминий	кадмий	кобальт	магний	медь	мышьяк	никель	свинец	стронций	хром	цинк
Отвальная зола ТЭЦ-22	51 766	2	19,6	2289	14,5	16,5	—	2	324,1	180,3	16,4
Зола Северодвинской ТЭЦ:											
проба № 1	26 164	< 2	59,5	1886	86,8	58	213	< 2	661	704	115
проба № 2	—	50	35	500	90	80	120	50	—	120	50
проба № 3	—	1,5	10	75	40	—	40	5	—	9	16
Фосфогипс-дигидрат Воскресенского завода	666,4	—	226,8	153,3	126	—	7,5	< 2	39 013	7,08	184,9
Портландцемент	23 070	2	7,4	1874	16	2	11,3	2	569	118	34
Предельно допустимое содержание в почве (ПДКп)	—	0,5	50	1500	33	2	20	32	—	90	55

жающей среды РАН (НИИЭЧГОС) в НИИЖБе ГНЦ РФ "Строительство" была проведена работа по изучению эколого-гигиенических свойств техногенных отходов, образцов цементного камня на основе малоклинкерных вяжущих разного вещественного состава и бетонов различных видов с использованием отвальной золы ТЭЦ-22. При оценке эколого-гигиенических свойств техногенных отходов использовали ускоренную методику НИИЭЧГОС, которая включает санитарно-химический анализ и биологическую оценку активности отхода по разным биотестам.

Санитарно-химический анализ основан на определении "валового" содержания элементов тяжелых металлов, что позволяет оценить лишь потенциальную опасность отхода, не раскрывая состава вещества, в который входит данный элемент, и его растворимость в различных средах. Биологическая активность пром-отходов в окружающей среде определяется наличием подвижных, растворимых форм металлов, количество которых значительно колеблется в зависимости от щелочно-кислотного равновесия контактирующей с отходом среды. В соответствии с этим определение содержания тяжелых металлов в отходах проводят в водопроводной воде (рН 7—7,2)

и в ацетатно-аммонийном буферном растворе (рН 4,8). Наличие тяжелых металлов в водной вытяжке из отходов характеризует максимально возможное негативное воздействие отхода на живые организмы и окружающую среду.

Буферная вытяжка моделирует кислотность почвенных растворов и кислотных дождей. Это позволяет более точно моделировать реальные условия и оценивать негативное влияние отхода при попадании его на почву или при воздействии в виде кислых дождей. Сопоставление содержания тяжелых металлов по валу в водных и ацетатно-аммонийных вытяжках с ПДК для почвы и ПДК для воды водоемов, а также анализ результатов биотестирования позволяют, по мнению специалистов НИИЭЧГОС, оценить уровень экологической опасности для человека и окружающей среды.

Результаты санитарно-химического анализа исследуемых проб отходов представлены в табл. 1 и 2. Из приведенных в табл. 1 данных следует, что изучаемые отходы содержат в своем составе ингредиенты, такие, как свинец, хром, кадмий, кобальт, мышьяк, медь, цинк и другие, валовое содержание которых в некоторых отходах значительно превышает предельно допустимое значение для почв (ПДКп), что характеризует их как потен-

циально опасные. При этом различные пробы золы Северодвинской ТЭЦ имеют весьма большой разброс по количественному содержанию различных элементов, что свидетельствует об их неоднородности и значительно усугубляет проблему токсичности отходов.

При оценке содержания водорастворимых форм тяжелых металлов (см. табл. 2), можно отметить, что наибольшее количество их обнаружено в фосфогипсе (марганец, медь, никель, цинк), что указывает на его биологическую активность. Количество подвижных форм тяжелых металлов в ацетат-аммонийной вытяжке (см. табл. 2) во всех без исключения отходах значительно возрастает по сравнению с водными вытяжками и превышает ПДК для воды водоемов в несколько раз.

Вместе с тем санитарно-химический анализ является лишь частью методики оценки эколого-гигиенических свойств промышленных отходов, разработанной в НИИЭЧГОС. При комплексной оценке отходов были получены результаты, на основе которых установленный класс опасности исследуемых отходов позволяет отнести их к группе высокоопасных, в которую входят такие отходы, как гальваношламы. Это свидетельствует о том, что применяемая методика

Вид отхода	Содержание подвижных форм тяжелых металлов в отходах различных видов, мг/л											
	алюминий	кадмий	кобальт	магний	медь	мышьяк	никель	свинец	стронций	хром	цинк	железо
Отвальная зола ТЭЦ-22	$\frac{0,1}{165,4}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,01}{0,69}$	$\frac{0,01}{0,12}$	$\frac{0,015}{0,091}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,75}{6,6}$	$\frac{0,01}{0,18}$	$\frac{0,01}{0,46}$	$\frac{0,01}{5,7}$
Зола Северодвинской ТЭЦ: проба № 1	$\frac{0,1}{38,5}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,06}{0,01}$	$\frac{0,01}{4}$	$\frac{0,01}{0,31}$	$\frac{0,04}{0,6}$	$\frac{0,01}{0,19}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,8}{5,4}$	$\frac{0,01}{0,3}$	$\frac{0,01}{0,3}$	$\frac{0,01}{35,6}$
проба № 3	—	$\frac{0,03}{0,6}$	$\frac{0,05}{1,00}$	—	$\frac{0,04}{2,8}$	—	$\frac{0,06}{4}$	$\frac{0,1}{Н/о}$	—	$\frac{0,02}{1,4}$	$\frac{0,03}{3}$	—
Фосфогипс-дигидрат Воскресенского завода	$\frac{0,1}{0,9}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,001}{0,03}$	$\frac{0,7}{0,7}$	$\frac{1,37}{1,3}$	$\frac{0,0004}{0,0004}$	$\frac{0,16}{0,13}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,5}{3,8}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{1,24}{1,35}$	—
Портландцемент	$\frac{0,1}{31,4}$	$\frac{0,001}{0,001}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,01}{0,02}$	$\frac{0,0004}{0,0004}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{9,7}{8,5}$	$\frac{0,01}{0,32}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,01}{0,01}$
Предельно допустимое содержание для воды водоемов (ПДК <sub>вв</sub> )	0,5	0,001	0,1	0,1	1	0,05	0,1	0,03	7	0,5	1	0,3

Примечание. Над чертой — водная вытяжка; под чертой — ацетат-аммонийный раствор.

оценки эколого-гигиенических свойств промышленных отходов должна быть скорректирована и уточнена применительно к оценке промышленных отходов, используемых в производстве строительных материалов. С этой целью необходимо определить перечень вредных ингредиентов, учитывать при анализе отходов в основном содержание подвижных форм тяжелых металлов только в водных вытяжках и оценку биологической активности отхода по биотестам производить с учетом возможности изменения рН водной вытяжки отхода. Такая методика должна быть разработана НИИЭЧГОС совместно с НИИЖБом.

Были проведены специальные исследования и определены эколого-гигиенические свойства образцов цементного камня на основе тонкомолотых вяжущих с содержанием зол ТЭЦ 30 и 70%, а также золосульфатосодержащего вяжущего, разработанного в НИИЖБе. Исследования показали, что выделение вредных веществ из образцов цементного камня, содержащего техногенные отходы, значительно меньше, чем из исходного сырья, и в основном не превышает гигиенических нормативов. Установлена

зависимость выделения вредных веществ от содержания отхода в цементном камне изделия и от условий его эксплуатации.

Вместе с тем цементный камень является лишь этапом в необходимом цикле исследований сырья—цементный камень—бетон—изделие. Были изучены эколого-гигиенические свойства бетонов различных видов, насыщенных отальной золой ТЭЦ-22 (тяжелый, мелкозернистый, керамзитобетон). Исследования показали, что образцы тяжелого бетона с содержанием золы 350 кг/м<sup>3</sup>, мелкозернистого бетона (расход золы 500 кг/м<sup>3</sup>) и керамзитобетона с содержанием золы 350 кг/м<sup>3</sup> не выделяют в воздушную и водную среды вредных ингредиентов, что позволяет считать их экологически чистыми.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

отходы энергетической, металлургической и сульфатосодержащие отходы химической промышленности, представляющие собой ценное минеральное сырье, могут и должны быть использованы для производства экологически чистых бетонов;

проблема токсикологии техногенных отходов и производства изделий из них существует, что подтверждают результаты проведенных исследований;

в действующей нормативно-технической документации нет единой утвержденной методики для оценки эколого-гигиенических свойств техногенных отходов и строительных материалов на их основе. Кроме того, отсутствует классификация строительных материалов по эколого-гигиеническим свойствам.

Основной задачей при дальнейшем решении данной проблемы является разработка экспресс-методики оценки эколого-гигиенических свойств техногенных отходов и строительных материалов на их основе. Эта методика должна учитывать особенности применения отходов промышленности в строительной индустрии и последующие условия эксплуатации строительных материалов. Постановка такой задачи является крайне актуальной, поскольку с 1998 г. вводится обязательная гигиеническая сертификация неорганических строительных материалов на основе промышленных отходов.

## Легкие бетоны и конструкции из них

Опыт многочисленных отечественных и зарубежных исследований, производственная практика показывают, что легкие бетоны на пористых заполнителях различных видов по-прежнему являются эффективным материалом конструкционного, конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного назначения.

В бывш. СССР ежегодно применялось около 30 млн.м<sup>3</sup> конструкций и изделий из легких бетонов, что составляло около 20% общего объема применения бетона и железобетона в строительстве. Для этого была создана мощная производственная база (около 450 предприятий) по выпуску легких пористых заполнителей. Объем их производства составлял около 50 млн.м<sup>3</sup>, в том числе 43 млн.м<sup>3</sup> (или 85%) искусственных. Это существенно больше, чем в зарубежных странах.

Развитие производства пористых заполнителей, легких бетонов и конструкций поддерживалось государством в целях скорейшего решения жилищной проблемы и обеспечения других областей строительства прежде всего наружными стеновыми панелями заводского изготовления.

Разработкой и совершенствованием технологий получения пористых заполнителей различных видов, исследованиями и нормированием их свойств занимались ВНИИСтром, НИИКерамзит, МИСИ, НИИСМИ (Киев), УралНИИСтромпроект при участии НИИЖБа, ВНИИжелезобетона, ЦНИИЭПжилища и других институтов. Технологией производства легких бетонов, легкобетонных изделий и конструкций, нормированием их свойств в основном занимались НИИЖБ, ЦНИИЭПжилища, ВНИИжелезобетон, МИСИ с участием НИИСФа и других институтов и организаций. Исследования, расчет и проектирова-

ние конструкций из легких бетонов выполнялись (с участием других организаций) НИИЖБом, ЦНИИСКом и ЦНИИЭПжилища, располагающими достаточно мощной базой для проведения такого рода работ и квалифицированными научными кадрами.

Основателем школы теории и практики легкобетонного строительства по праву следует считать проф. Н.А.Попова. Значительный вклад в решение актуальных задач по этой проблеме внесла лаборатория легких бетонов и конструкций НИИЖБ (Н.А.Корнев, Г.А.Бужевич, И.Е.Путляев, А.А.Кудрявцев и др.).

Примерно 80% легких бетонов использовалось в жилищно-гражданском, около 15% — в промышленном и 5% — в сельскохозяйственном строительстве. В настоящее время в России легкие бетоны применяются практически только в жилищно-гражданском строительстве. При этом существенно увеличилась доля их применения в малоэтажном строительстве, при возведении различного рода торговых центров и других объектов гражданского назначения, сооружаемых по индивидуальным проектам.

Ведущее место в общем объеме выпуска пористых заполнителей (около 75%) пока продолжает занимать высокоэнергоемкий керамзит. Однако можно ожидать, что в сложившихся экономических и экологических условиях в России доля его производства и применения будет значительно уменьшаться (как это имеет место в зарубежных странах). Будут использоваться преимущественно безобжиговые заполнители из отходов различных производств (главным образом металлургии и энергетики), а также природные пористые заполнители. Для этого имеются и достаточные объемы сырьевых материалов, и разработанные

эффективные технологии переработки отходов промышленности в пористые заполнители, высококонкурентные в сравнении с отечественным керамзитом и его зарубежными аналогами.

Примером может служить разработанная НИИЖБом, Уральским институтом металлов, АО НПиИА "Стройпрогресс" и получившая мировое признание экологически чистая и низкоэнергоемкая технология производства низкотеплопроводного остеклованного пористого шлакоостеклованного пористого шлакоостеклованного гравия (шлакоостеклогранулята — ШСГ). Сырье — шлаки текущего выхода (шлаковые расплавы) доменного производства производства ферросплавов (силикомарганца и ферромарганца), электротермического производства фосфора. Теплопроводность зерен ШСГ в среднем на 20% ниже в сравнении с керамзитовым гравием равной плотности; энергозатраты же на его производство ниже почти в 10 раз, а себестоимость примерно в 3 раза меньше. Опытно-промышленная установка по изготовлению ШСГ введена в эксплуатацию в 1993 г. на Карагандинском металлургическом комбинате. В стадии строительства находится промышленная установка по его производству на Новолипецком металлургическом комбинате.

В отечественной практике легкобетонного строительства используются в основном сборные элементы заводского изготовления. Строительство зданий различного назначения ведется преимущественно по типовым проектам, разработанным ЦНИИЭПжилища, ЦНИИпромзданий, ГипроНИИсельхозом, НИИЖБом, ЦНИИСКом и др. Используется широкая номенклатура конструкций из легких бетонов:

для жилищно-гражданского строительства — ограждающие и несущие конструкции крупнопанельных зданий, блоки наружных и внутренних стен, панели

наружных стен для каркасных общественных зданий, многослойные панели перекрытий, панели совмещенных крыш;

для промышленного строительства — панели стен ленточной разрезки, крупные блоки стен, плиты покрытий и перекрытий, фермы, балки, ригели, панели перегородок;

для сельскохозяйственного строительства — панели наружных стен (в том числе укреплённые, повышенной заводской готовности), плиты покрытий.

В типовых конструкциях предусматриваются, как правило, керамзитобетон и шлакопемзобетон прочностью 5...15 МПа для панелей стен и 20 МПа и более — для несущих конструкций. Изготавливают обычные и предварительно напряжённые конструкции. Наряду с типовыми для зданий различного назначения все шире применяют легковесные несущие и ограждающие конструкции индивидуального проектирования.

Легкие бетоны на пористых заполнителях, особенно обжиговых, обычно дороже равнопрочного тяжелого бетона. Поэтому легкие бетоны преимущественно (до 85%) используют в ограждающих конструкциях, выполняющих в основном функцию теплоизоляции. Несущие же конструкции из легких бетонов применяют, как правило, только в районах, не располагающих запасами горных пород для плотного заполнителя, но имеющих достаточные запасы сырья (глин, глинистых сланцев и др.) для производства пористых заполнителей.

На перспективу же следует учитывать, что собственная масса несущих конструкций из легких бетонов благодаря их низкой плотности до 1,5 раз, а при использовании в качестве мелкого заполнителя относительно прочных пористых песков — до 2 раз меньше, чем аналогичных конструкций из тяжелого бетона. Целесообразность применения здесь легкого бетона вместо тяжелого обусловлена тем, что при этом снижаются нагрузки от собственной массы конструкций, обеспечивая тем самым

экономия арматуры. Для крупных инженерных сооружений и многоэтажных зданий переход от тяжелого бетона к конструкционному легкому позволяет снизить затраты на возведение фундаментов. Особенно эффективно применение легких бетонов в тех конструкциях, для которых значительную часть нагрузки составляет их собственная масса. Наряду с многоэтажными зданиями это относится прежде всего к пролетным строениям мостов, к оболочкам и складкам, к большепролетным плитам покрытий.

Комплексное применение легких бетонов (и в ограждающих, и в несущих конструкциях зданий) упрощает технологию производства конструкций и изделий на предприятиях стройиндустрии, приводит к снижению трудозатрат, транспортных расходов, сметной стоимости строительства, уменьшению массы зданий. Последнее особенно важно для сейсмостойкого строительства и для строительства на подрабатываемых угольными шахтами территориях. Весьма показателен в этом отношении успешный опыт комплексного применения одного из наиболее эффективных видов легкого бетона — шлакопемзобетона по разработкам НИИЖБа, ЦНИИ-ЭПжилища и Донецкого ПромстройНИИпроекта при возведении зданий различного назначения в таких крупных индустриальных центрах, как Липецк, Череповец, Кривой Рог, Донецк.

В США, Канаде, Японии, Австралии и в технически развитых странах Западной Европы, в отличие от нашей практики строительства, основная масса легких бетонов (примерно 90% по объему) применяется при изготовлении монолитных несущих конструкций и небольших стеновых блоков (стеновых камней). Легкий бетон прочностью до 60 МПа успешно применяется при строительстве высотных (до 70 этажей) зданий, большепролетных мостов и, учитывая высокую долговечность, в конструкциях морских гидротехнических сооружений. В этом плане показателен возрастающий объем применения легкого бетона

в несущих конструкциях платформ для добычи нефти в северных приливных морях.

Немаловажно отметить, что конструкционный легкий бетон является сейчас объектом широкого сотрудничества в рамках многих международных организаций (ФИП, ЕКБ, РИЛЕМ и др.). При этом особое внимание уделяется так называемому High Performance Concrete, а именно новому (по классификации ФИП/ЕКБ) типу легкого бетона, характеризующемуся высокой прочностью (до 80 МПа) и долговечностью.

Легкий бетон такого типа (классов по прочности на сжатие В25...В50), высокой морозостойкости (от F500 до F1500 и выше) и особо низкой проницаемости (от W8 до W12 и выше) разработан в НИИЖБе совместно с ЦНИЛом (г.Липецк) при использовании в качестве заполнителей шлаковой пемзы двух разновидностей (щебня и гравия). Из такого бетона на предприятиях стройиндустрии ТСО "Липецкстрой" изготовлены в 1987—1988 гг. и успешно эксплуатируются до настоящего времени панели безрулонной кровли жилых зданий, лотки крыши, плиты балконов и лоджий, бордюрные камни.

В России, как и в других странах СНГ (Беларусь, Украина), основной проблемой, связанной с применением легких бетонов, решаемой и ранее, но ставшей особенно актуальной в последнее время, является проблема совершенствования ограждающих конструкций зданий в направлении повышения их сопротивления теплопередаче. Особую актуальность эта проблема приобрела после ввода в действие постановления Минстроя России № 18-81 от 11.08.1995 г. об изменении № 3 СНИП П-3-79 "Строительная теплотехника", направленного на повышение уровня тепловой защиты зданий и соответственно на экономию затрат для их отопления.

Требуемое повышение сопротивления теплопередаче однослойных ограждающих конструкций до двух раз на первом этапе реализации указанного поста-

новления принципиально может быть достигнуто соответствующим уменьшением плотности применяемого в них легкого бетона за счет использования особо легкого (насыпной плотностью менее  $250 \text{ кг/м}^3$ ) крупного заполнителя, легких (насыпной плотностью менее  $350 \text{ кг/м}^3$ ) фракционированных пористых песков, при умеренной поризации бетонных смесей.

В этом случае, как показали выполненные в НИИЖБе опыты, может быть получен легкий бетон класса по прочности В3,5 марки по плотности D700. Использование такого бетона в наружных стеновых панелях зданий позволяет на первом этапе действия постановления изготавливать их в существующей опалубке, т.е. без увеличения толщины.

Радикально же вопрос повышения сопротивления теплопередаче ограждающих легкобетонных конструкций на первом и втором этапах может быть решен переходом к трехслойному их варианту со средним теплоизолирующим слоем из бетона пониженной (не более  $400 \text{ кг/м}^3$ ) средней плотности. При этом, в отличие от традиционных трехслойных ограждающих конструкций с эффективным утеплителем и гибкими связями, надежно обеспечиваются требуемое повышение показателей теплотехнического качества конструкций, их долговечность и огнестойкость при существенно меньшей трудоемкости изготовления. Монолитность сечения, обеспеченная надежным сцеплением легких бетонов всех трех слоев, снимает вопросы устойчивости в сжатых и позволяет эффективно использовать разработанные решения в изгибаемых ограждающих конструкциях. Исследования таких конструкций ведутся в НИИЖБе с 1985 г. Для изготовления среднего слоя выбран теплоизоляционный полистиролбетон.

Выполнен большой объем исследовательских работ, позволяющий рекомендовать разработанные трехслойные конструкции для широкого применения в строительстве: подобраны опти-

мальные составы полистиролбетона классов по прочности В0,35...В0,75 марок по средней плотности D250...D400, изучены его прочностные, деформативные и теплофизические свойства, исследована совместная работа среднего низкопрочного слоя с наружными слоями из легких бетонов классов В5...В15, составлены рекомендации по расчету и конструированию трехслойных сжатых и изгибаемых конструкций, изготовлены и испытаны ограждающие конструкции различных видов, подтвердившие их технологичность и надежность в эксплуатации, проведена их технико-экономическая оценка.

Трехслойные ограждающие конструкции из легких бетонов целесообразны для применения в стенах жилых крупнопанельных и крупноблочных зданий, в стенах зданий различного назначения из панелей ленточной резки и укрупненных, в панелях покрытий и чердачных перекрытий. На первом этапе реализации повышенных требований к теплозащите зданий такие конструкции имеют ту же толщину и могут изготавливаться в тех же формах, что и однослойные из легкого бетона.

Разработаны решения трехслойных стен (стеновой кладки) из легкобетонных двухслойных и однослойных мелких блоков стандартных (по ГОСТ 6133) размеров, обеспечивающие требования второго этапа теплозащиты жилых зданий при толщине стен в 1,5 и 2 блока (в зависимости от климатического региона России). Наружный слой в двухслойных блоках выполняется из легких бетонов различных видов класса В5, а внутренний слой — из теплоизоляционного полистиролбетона класса В0,75. Технология производства таких блоков отработана на одном из предприятий стройиндустрии России, и принято решение об освоении их массового выпуска.

В 1996—1997 гг. для трехслойных ограждающих конструкций и двухслойных мелких блоков описанных выше видов в НИИЖБе разработан теплоизо-

ляционный полистиролбетон модифицированной структуры на композиционном шлаковом вяжущем с существенно улучшенными в сравнении с традиционным полистиролбетоном теплофизическими свойствами: сорбционная влажность при  $\varphi_{\text{в}} = 97\%$  меньше почти в 1,5 раза, коэффициент теплопроводности при эксплуатационной влажности применительно к условию Б (по СНиП II-3-79\*) ниже примерно на 30%.

Следует отметить, что разработку композиционных вяжущих с пониженной теплопроводностью цементирующего камня начали в НИИЖБе еще в 1980 г. с целью улучшения теплофизических свойств конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов. Так, например, были получены двух- и трехкомпонентные низкотеплопроводные вяжущие марок 300 и 400 с использованием бокситового шлама — отхода глиноземного производства, а также с использованием шлама — отхода нейтрализации известью сернокислых травильных растворов на метизных и сталепрокатных заводах страны. Изготовленные на таких вяжущих керамзитобетон и шлакопемзобетон классов В3,5...В7,5 имели коэффициент теплопроводности в состоянии эксплуатационной влажности (при  $\varphi_{\text{в}} = 97\%$ ), меньший в среднем на 12...20% в сравнении с равнопрочными и равноплотными легкими бетонами тех же видов, изготовленными соответственно на шлакопортландцементе и портландцементе.

Есть основания полагать, что использование таких композиционных вяжущих и им подобных на базе рационального использования отходов промышленности будет еще более эффективно в теплоизоляционных легких бетонах. Особенно эффективно должно быть применение низкомарочных малоклинкерных вяжущих для изготовления мелких блоков, а также "теплых" строительных растворов для кладки стен.

## Исследование и разработка предварительно напряженных конструкций

Практическое применение предварительно напряженного железобетона у нас в стране получило в начале 30-х годов текущего столетия после первых исследований В.В. Михайлова в Закавказском институте сооружений и работ научного коллектива под руководством А.А. Гвоздева в ЦНИПСе. Основные результаты исследований были обобщены в "Инструкции по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций и указаниях по их изготовлению", составленной в ЦНИПСе в 1941 г.

Промышленное производство предварительно напряженного железобетона началось незадолго до Второй мировой войны, а в начале 50-х гг. было развернуто изготовление и применение сборных крупноразмерных преднапряженных балочных и плитных конструкций.

В 1956 г. в НИИЖБе была организована лаборатория предварительно напряженных железобетонных конструкций (руководитель Бердичевский Г.И., старшие научные сотрудники Калатуров Б.А., Кузьмичев А.Е., Светов А.А.). Становление лаборатории происходило в то время, когда в нашей стране осуществлялся крупномасштабный переход от строительства из монолитного железобетона к возведению зданий и сооружений из сборных железобетонных конструкций. Этот период характеризовался поисками новых решений железобетонных конструкций укрупненных размеров, способных заменить стальные конструкции, которые занимали ведущее место в строительстве того времени.

Решение этой задачи осуществлялось по двум направлениям.

Первое было связано с использованием уже имевшегося научного потенциала в области расчета, конструирования и изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций. Ко второму направлению относилось проведение новых теоретических и научно-экспериментальных исследований, на базе которых открывались широкие возможности создания преднапряженных конструкций нового поколения.

Первые технические разработки были направлены на создание конструкций, собираемых из отдельных сборных элементов, при изготовлении которых использовался метод непрерывного армирования. Были разработаны преднапряженные конструкции балок пролетом до 24 м для промышленных зданий, подкрановых балок пролетом 6 м для кранов грузоподъемностью от 5 до 30 т, автоклавов для пропаривания железобетонных изделий под давлением 8...12 ати, емкостей для хранения сжиженных газов, силосов, корпуса атомного реактора, складчатых покрытий и т.д.

Результаты исследований и накопленный в этот период опыт расчета, конструирования и изготовления преднапряженных конструкций позволили выявить ряд малоизученных вопросов теории железобетона и послужили основой для проведения комплекса специальных экспериментально-теоретических исследований. Последние были тесно связаны с разработкой и изучением конструкций, их элементов и узлов, а также совершенствованием методов расчета предварительно напряженных элементов при различных сочетаниях силовых воздействий. Значительный

объем этих исследований был посвящен изучению работы предварительно напряженных элементов при различных видах воздействий — внецентренного сжатия и растяжения с малыми эксцентриситетами, косоугольного изгиба, влияния длительного обжига при температуре до 90°C, различных режимов многократно повторных нагружений, а также технологических факторов на трещиностойкость этих элементов.

В других исследованиях были рассмотрены вопросы, связанные с совершенствованием конструкций и изучением работы их элементов — опорных узлов, растянутых стыков с напрягаемой стержневой, проволочной и канатной арматурой, а также особенностей раскрытия трещин в растянутых элементах. Эти работы включают результаты исследований в области сборно-монолитного железобетона, новых плитных конструкций для покрытий производственных зданий, уточнения расчета их прочности, трещиностойкости и деформативности, экспериментального изучения особенностей работы изгибаемых преднапряженных широкополочных плитно-балочных конструкций.

В связи с развитием в стране промышленности сборного железобетона первоочередной задачей лаборатории явилось создание типовых предварительно напряженных железобетонных конструкций для промышленных, гражданских сельскохозяйственных зданий и инженерных сооружений. С этой целью лабораторией проводился комплекс работ, который включал экспериментально-теоретические исследования по расчету и конструированию преднапряженных эле-

ментов, разработку и опытную проверку изделий, составление рабочей проектной документации, организацию изготовления конструкций. Эти работы проводились совместно с ведущими проектными институтами (ЦНИИПромзданий, Промстройпроект, ПИ-1, НИИПромстрой, ЦНИИЭПжилища, Энергосетьпроект и др.) и передовыми предприятиями-изготовителями сборного предварительно напряженного железобетона.

Типовые преднапряженные конструкции разрабатывались в основном для массового заводского изготовления. На их долю приходилось 20...25% общего объема применяемых сборных железобетонных конструкций. При этом основной объем составляли плоскостные и стержневые конструкции, в которых в качестве рабочей арматуры используют стержневые стали периодического профиля повышенной прочности, напрягаемые, как правило, электротермическим способом, а также высокопрочную проволочную и канатную арматуру с механическим натяжением. Заанкеривание арматуры на концевых участках конструкции, при передаче усилий обжатия, обеспечивают за счет сцепления арматуры с бетоном, как правило, без устройства специальных анкеров. Надежности такого типа анкеровки были посвящены специальные исследования. Это обстоятельство сыграло важную роль в упрощении процессов заготовки и натяжения арматуры и соответственно в снижении трудоемкости заводского изготовления конструкций массового назначения.

Более 25% общего расхода железобетонных преднапряженных конструкций составляют многопустотные плиты, которые являются основными при устройстве перекрытий жилых и общественных зданий. Разносторонние исследования этих конструкций позволили разработать типовые решения плит длиной от 2,4 до 12 м и шириной до 3 м

со стержневой и высокопрочной проволочной арматурой различных классов.

Массовое применение в покрытиях одноэтажных производственных зданий получили преднапряженные ребристые плиты размерами 3x6 и 3x12 м. Они предназначены для покрытий со стержневыми конструкциями (балками или фермами). В покрытиях производственных зданий эффективно используются преднапряженные плиты на пролет размерами 18x3 и 24x3 м П-образного сечения, которые совмещают функции ограждающих и несущих конструкций.

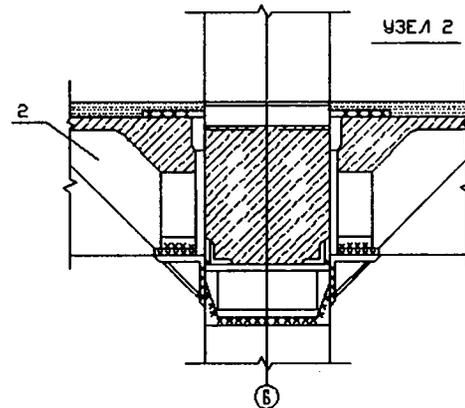
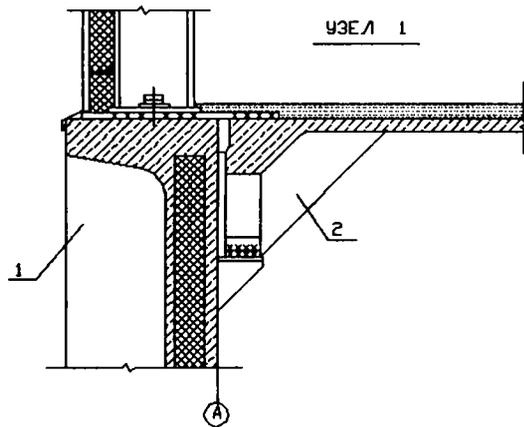
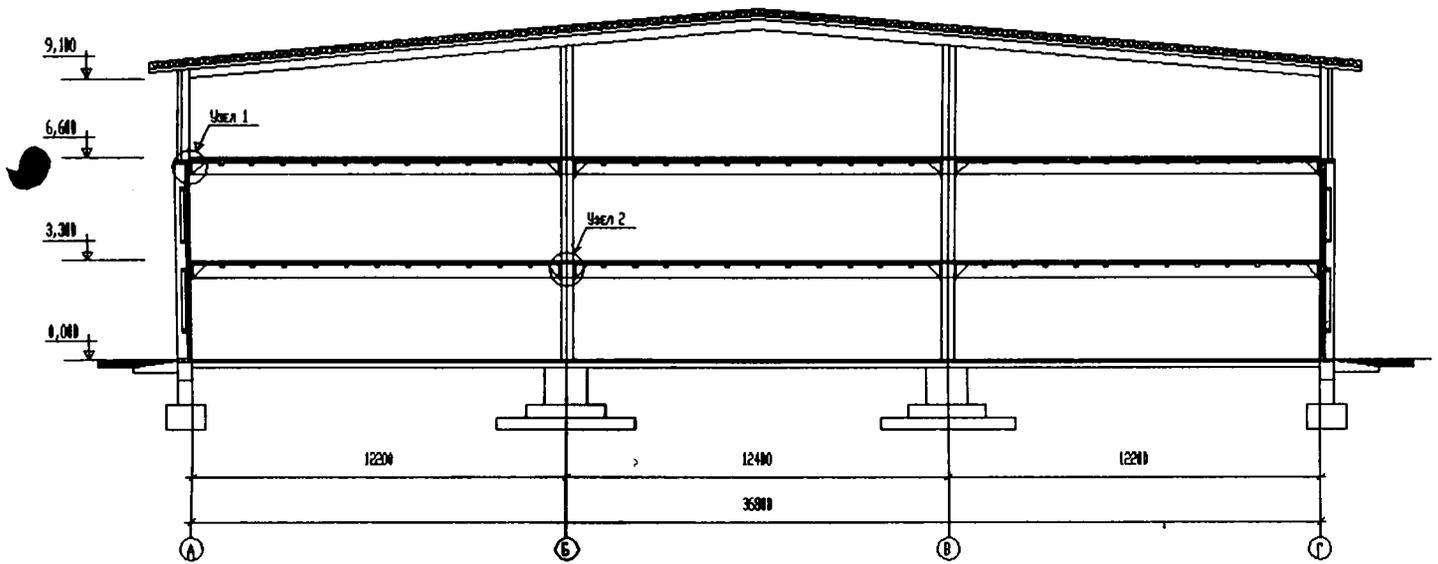
В качестве стропильных конструкций применяют двускатные решетчатые балки прямоугольного сечения пролетом от 12 до 24 м, а также балки со сплошной стенкой таврового и двутаврового сечений пролетом от 6 до 24 м, предназначенные для скатной и малоуклонной кровель. Основными несущими конструкциями покрытий одноэтажных производственных зданий пролетом до 24 м являются преднапряженные железобетонные фермы. Их массовому применению предшествовал комплекс экспериментально-теоретических исследований, связанных с особенностями расчета и рациональным конструированием узловых сопряжений, сжатых и растянутых элементов поясов и решетки. Для зданий со скатными покрытиями пролетом 18 и 24 м применяют фермы двух типов: раскосные сегментные с верхним поясом ломаного очертания и безраскосные арочного очертания. Для покрытий с малоуклонной кровлей применяют безраскосные фермы с дополнительными стойками на верхнем поясе.

Исследования, выполненные лабораторией предварительно напряженных конструкций, позволили разработать ряд других типовых преднапряженных конструкций. Среди них ригели пролетом 6...12 м, ребристые и плоские плиты перекрытий много-

этажных зданий, подстропильные фермы и балки пролетом до 18 м, подкрановые балки, прогоны, настилы-воздуховоды и т.д. Одно из направлений лабораторий связано с созданием сборных конструкций сельскохозяйственных производственных зданий, особенностью которых является отсутствие значительных крановых нагрузок и широкое применение кровли с уклоном 1:4, обеспечивающей естественную вентиляцию. Проведенные совместно с ЦНИИЭПсельстроем и Гипронисельстроем научно-исследовательские и проектные работы позволили снизить расход бетона и стали в основных несущих конструкциях стоечно-балочного каркаса по сравнению с промышленными конструкциями на 20...25% (балки покрытий пролетом 6...9 м, безраскосные фермы пролетом 12 и 18 м, ребристые плиты размером 1,5x6 м с высотой продольного ребра 250 мм и т.д.). Были исследованы и нашли массовое применение конструкции зданий павильонного типа пролетом 12, 18 и 21 м и высотой 2,4...2,7 м, каркас которых собирают из Г-образных полурам. Увеличение пролета (до 27 м) и высоты (до 7,2 м) достигается приваркой к стойкам и ригелям полурам линейных элементов.

На основе комплексных исследований совместно с ЦНИИПромзернопроект разработаны унифицированные конструкции сборных силосных сооружений с круглыми и квадратными емкостями для промышленных сыпучих материалов и предприятий по хранению и переработке зерна. Применение сборных железобетонных конструкций позволило в короткий срок резко увеличить объем строительства в этой области: более 80% хранилищ сооружалось из сборного, в том числе преднапряженного железобетона.

В практике возведения свайных фундаментов наибольшее распространение получили за-



Быстровозводимый гараж-стоянка из крупнопанельных железобетонных конструкций  
1 — трехслойные несущие стеновые панели; 2 — ребристые плиты "на пролет"

бивные сваи квадратного сечения размером от 200x200 до 400x400 мм длиной 3...20 м. В работах лаборатории, проведенных под руководством В.А.Якушина, показаны определенные преимущества применения преднапряженных свай, изучена работа их оголовников и острия при воздействии динамических нагрузок. Лабораторные проработки позволили создать надежные преднапряженные сваи с круглой полостью, без поперечного армирования и с центрально расположенной арматурой, преднапряженные сваи из керамзитобетона, а также составные сваи с эффективными клевыми

стыками. В результате этих исследований разработаны стандарты и рекомендации по применению преднапряженных забивных свай различных типов.

Создание новых видов высокоэффективных арматурных сталей и бетонов дало возможность широко использовать предварительно напряженный железобетон для изготовления стоек и разработать целый ряд новых конструктивных схем железобетонных опор линий электропередачи напряжением до 750 кВ, опор освещения и контактной сети железных дорог и электрифицированного городского транспорта. Преднапряженные стойки

прямоугольного сечения из вибрированного бетона длиной 9,5...16,4 м и центрифугированные стойки кольцевого сечения диаметром до 800 мм и длиной 20...26 м, работа которых при различных сочетаниях нагрузок была подробно изучена в лабораторных и натурных условиях, в практике строительства линий электропередачи на 70% заменили металлические опоры ЛЭП и позволили в значительной мере сократить расходы материалов и сроки работ.

В области инженерных и специальных конструкций, помимо преднапряженных свай и опор ЛЭП, исследования лаборатории

позволили создать типовые проекты сборных и монолитных резервуаров промышленного назначения, конструкции эстакад, дорожных и аэродромных плит и др.

Особый интерес в работе лаборатории этого периода представляет создание новых железобетонных конструкций кольцевого сечения, изготавливаемых методом центрифугирования. Такие конструкции были использованы в качестве колонн одноэтажных и многоэтажных производственных зданий, подсилованных этажей силосных корпусов, стоек технологических эстакад и др. Применение таких конструкций подтвердило их преимущества перед аналогичными из вибрированного бетона вследствие экономии материалов, повышения качества, надежности, долговечности. Это направление получило дальнейшее развитие в работе БГПА (г. Минск), проведенных под руководством Т.М. Пецольда, в результате которых осуществлено массовое внедрение центрифугированных конструкций в промышленное и жилищное строительство.

Тенденции современного состояния строительства в России требуют определенной корректировки в работах по созданию конструктивных систем из железобетона, в том числе из предварительно напряженного.

В производственных и общественных зданиях наблюдается рост технологических нагрузок, требуется увеличение пролетов и высоты помещений. В строительстве жилья происходит существенный прирост объема малоэтажного строительства под сравнительно небольшие нагрузки. В качестве ограждающих применяются современные легкие материалы, использование которых диктуют новые конструктивные решения. Изменился также подход к стоимости конструкций. Основными факторами для инвесторов и заказчиков стали конечная стоимость сооружения, а также быстрота окупаемости

вложений. В связи с этим в объемно-планировочных решениях зданий должны применяться разнообразные сочетания пролетов и высоты помещений, максимально соответствующие технологическому назначению объекта строительства. Поэтому предстоит разработать новое поколение предварительно напряженных конструкций с использованием созданной в предшествующие десятилетия мощной промышленной базы по производству бетона и железобетона.

В последние годы появилась ряд новых видов тяжелого и легкого бетонов, в том числе высокопрочных на основе композитных материалов. Разработаны новые классы арматуры, включая те, что имеют серповидный и винтовой профили. Необходимо изучить свойства этих материалов применительно к их использованию в преднапряженных конструкциях. На основе применения новых материалов должны быть созданы более легкие и технологичные сборные конструкции, формы и сечения которых позволят наиболее эффективно использовать предварительное напряжение. Должны получить развитие предварительно напряженные монолитные и сборно-монолитные конструкции для каркасов и перекрытий с сеткой колонн одноэтажных зданий до 30x30 м и многоэтажных — до 18x18 м. Применительно к монолитному бетону преднапряжению должны подвергаться не отдельные элементы, а конструктивные системы в целом. В переходный период наряду с разработкой новых конструкций необходимо совершенствовать существующие предварительно напряженные конструкции, которые в массовом порядке применяются для зданий и сооружений.

Весьма эффективно для быстровозводимых универсальных зданий (культурно-бытовых, административных, складских, гаражных, производственных и т.п.) использование усовершенст-

вованных крупнопанельных железобетонных конструкций размерами от 6x3 до 18x3 м. Здание высотой до трех этажей монтируется из наружных несущих трехслойных утепленных панелей вертикальной разрезки, а перекрытия и покрытие формируются из ребристых плит размерами на пролет 12x3 и 18x3 м. В многопролетных зданиях этого типа устанавливаются внутренние колонны (см. рисунок). Эффективность конструкций характеризуется экономией арматуры и бетона на 15...30% и сокращением сроков строительства в 2...3 раза.

Применение многпустотных плит перекрытий с улучшенной формой поперечного сечения, не изменяя существенно технологию их производства, позволит получать изделия длиной до 12 м при уменьшении на 20% расхода арматуры и снижении вдвое энергозатрат. За счет использования новых высокопрочных материалов — арматуры и бетона — возможен значительный экономический эффект при устройстве сборно-монолитных перекрытий с применением тонких предварительно напряженных плит, изготовлении преднапряженных железобетонных стоек опор ЛЭП и ряда других конструкций.

Разработка новых и совершенствование существующих конструкций должны базироваться на создании неразрезных стержневых и плитно-стержневых систем, учете совместной работы конструкций и нелинейности диаграмм деформирования материалов. При этом необходимо усовершенствовать стыковые сопряжения конструкций на основе использования бессварных соединений, исключения или значительного сокращения числа закладных деталей, применения предварительного напряжения в качестве средства соединения конструкций и обеспечения общей жесткости зданий.

## Эффективные непрерывно армированные конструкции и технология их изготовления

Заметную роль в совершенствовании производства сборного железобетона сыграл предложенный нашим выдающимся ученым, проф. В.В. Михайловым метод непрерывного армирования железобетонных конструкций — эффективный способ механизации и автоматизации процесса создания преднапряженного каркаса. Метод основан на применении арматурно-намоточных агрегатов, способных непосредственно из бухты арматуры навивать с заданной величиной натяжения проволоку или канат на упоры стенда или формы в любом направлении [1].

Суть метода непрерывного армирования заключается в сматывании гибкой нити арматуры с заводской бухты, пропуске ее по блокам и устройствам намоточного агрегата и навивке ее уже в натянутом состоянии на упоры силовой формы или стенда. Следует отметить, что первоначально усилие натяжения арматурной нити создавалось только механически за счет пригрузки, что нередко приводило к обрывам. Поэтому разработка комбинированного способа натяжения арматуры — электротермомеханического, — в котором часть натяжения создается механически, а другая часть — электротермически, сыграла заметную роль в усовершенствовании метода непрерывного армирования и его распространении в заводском производстве сборного железобетона.

В НИИЖБе был выполнен значительный комплекс исследований, позволивший разработать необходимое оборудование, в первую очередь арматурно-намоточные агрегаты и стенды, изготовить, установить его на заводах ЖБИ и запустить производство. Все работы, включая создание и экспериментально-теоретические исследования непрерывно-армированных конструк-

ций, а также технологию их изготовления, были выполнены под руководством В.В. Михайлова [2—4].

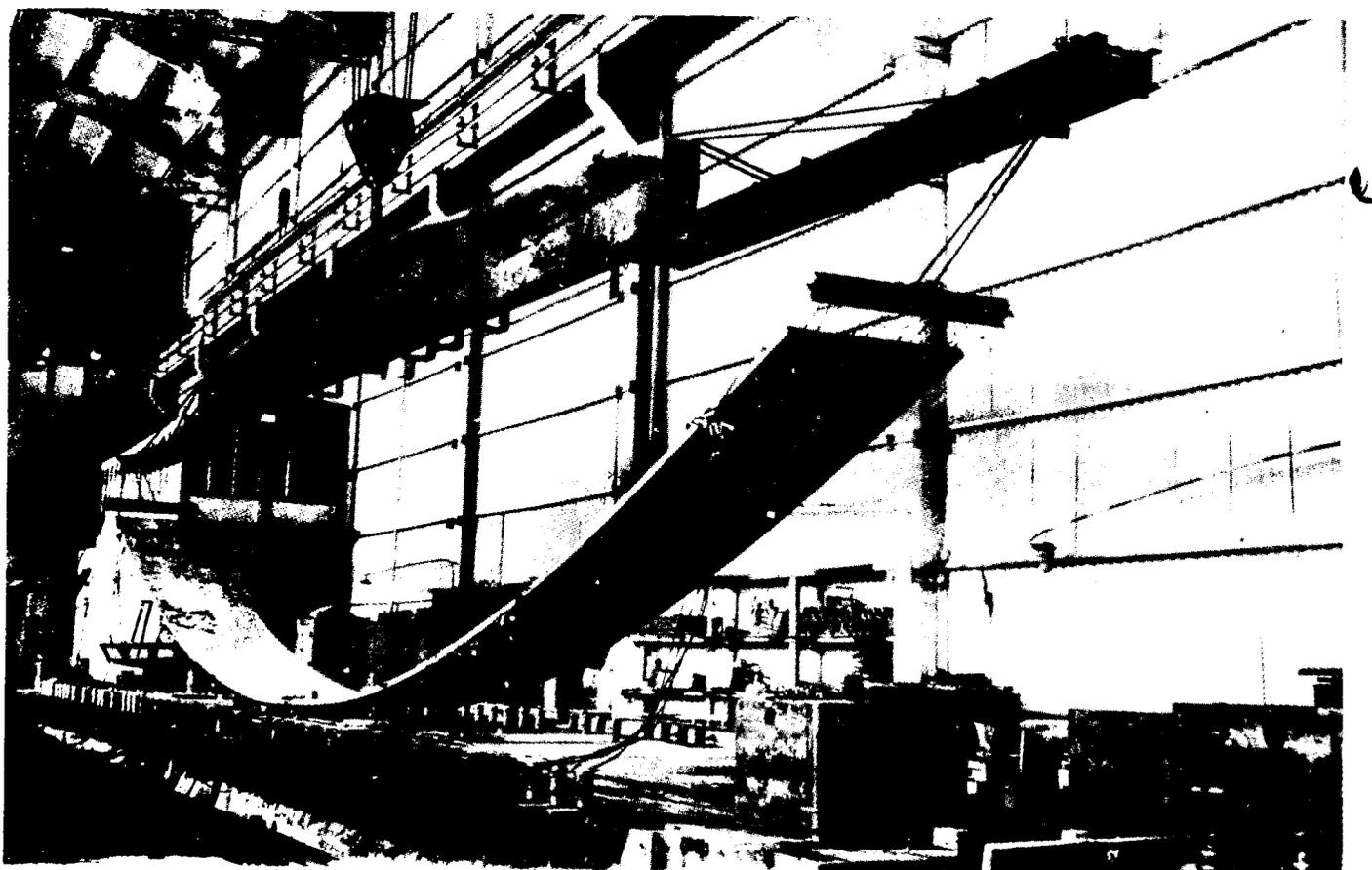
Разработанные арматурно-намоточные агрегаты рассчитаны на использование в качестве арматуры каната класса К-7 диаметром 6 и 9 мм и проволоки класса Вр-II диаметром 3, 4 и 5 мм. Заданная величина натяжения арматуры обеспечивается электротермомеханическим способом, все параметры которого разработаны применительно к используемой арматуре. Температура нагрева арматуры электрическим током находится в диапазоне 300...350°C.

К настоящему времени разработаны и находятся в эксплуатации в составе технологических линий на заводах ЖБИ арматурно-намоточные агрегаты трех основных типов: стационарный, самоходный, а также с вращающейся платформой. Первый представляет собой робот, выполняющий по заданной программе без участия оператора все операции по созданию преднапряженного каркаса: закрепление каната в начале навивки, навивку каната в заданной последовательности на упоры формы, закрепление каната в конце навивки и перерезание его, перемещение агрегата в исходное положение, подачу команды на перемещение формы с навитым каркасом и подачу очередной формы под портал агрегата. Техническая документация на эти агрегаты выполнена Гипростроммашем, а изготовлены они на заводе ЗОКИО ГНЦ "Строительство". Агрегат стационарного типа предназначен для работы в составе конвейерных и агрегатно-поточных технологических линий по производству плитных железобетонных конструкций массового применения (например, сплошных и многопустотных панелей перекрытий).

Конструкция многопустотной панели перекрытий, являющаяся самой массовой из всей номенклатуры сборного железобетона, при непрерывном армировании характеризуется тем, что схема расположения арматуры относительно проста. Как и в аналоге со стержневым армированием, канат укладывается вдоль одной, длинной стороны изделия, причем одноосное армирование сохраняется даже при ширине панели до 2,6 м. Экономический эффект от применения таких конструкций обусловлен использованием высокопрочной арматуры, за счет чего расход металла уменьшается в 1,5...2 раза (по сравнению с арматурой классов А-V и А-IV соответственно) и в 3...4 раза сокращаются трудозатраты на армирование.

Арматурно-намоточный агрегат самоходного типа (изготовитель — ЗОКИО по чертежам Гипростроммаша) предназначен для изготовления на стендах железобетонных конструкций с одноосным и двухосным армированием. В первую очередь его используют для армирования длинномерных и таких сложных конструкций, как фермы с криволинейным верхним поясом и напряженным армированием всех элементов решетки и обоих поясов. Продольная навивка осуществляется за счет движения агрегата вдоль стенда со скоростью до 0,75 м/с, а поперечная — за счет перемещения каретки с пинолью поперек портала (шасси агрегата) со скоростью 0,5 м/с.

Арматурно-намоточный агрегат с вращающейся платформой предназначен для навивки напряженных каркасов преимущественно объемных или криволинейных элементов емкостей, тоннелей, водоводов и т.п. Агрегаты этого типа (СМЖ-360, разработанные Гипростроммашем, и АНМ-3,5, разработанные ЭКБ



Гибкая преднапряженная железобетонная пластина

ЦНИИСК Госстроя РФ) эксплуатируются на более чем 30 технологических линиях заводов ЖБИ, выпускающих для сборных силосов элеваторов объемные элементы размером 3х3 м и криволинейные элементы колец диаметром 6 м. Метод непрерывного армирования является практически единственно возможным решением для выполнения указанных элементов преднапряженными, что необходимо для обеспечения их трещиностойкости.

Оригинальным технологическим и конструктивным решением, предложенным НИИЖБом, явилось использование поворотной платформы арматурно-намоточного агрегата в качестве элемента формовочно-навивочного комплекса для изготовления железобетонных труб водоводов большого диаметра (5...8 м). При этом на таком комплексе осуществляется полный цикл из-

готовления трубы, включающий формование основного слоя (сердечника), заглаживание его торца, образование в его стенках продольных каналов, тепловлажностную обработку, распалубку, навивку на сердечник непрерывной напряженной арматуры, формование защитного слоя и его тепловлажностную обработку. В разработанной конструкции трубы под напоры 0,5 и 1 МПа водонепроницаемость достигается путем использования напрягающего бетона, благодаря чему не требуется, в отличие от традиционных решений, специальная металлическая облицовка. Разработана и технология возведения водоводов, обеспечивающая герметичность стыковых соединений.

Применение арматурно-намоточных агрегатов приводит к значительной экономии рабочей силы. В зависимости от вида изготавливаемой конструкции трудо-

затраты на армирование снижаются при использовании стационарного агрегата в 3...5 раз, самоходного — в 6...9 раз, агрегата с вращающейся платформой — в 3...8 раз. За счет применения высокопрочной арматуры (каната или проволоки) расход стали, по сравнению со стержневой, снижается в 1,5...2 раза.

Особо следует отметить разработанные конструкции, изготавливаемые только методом непрерывного армирования, т.е. не имеющие аналогов с традиционным армированием. Это — длинномерные двухосно-преднапряженные гибкие пластины толщиной 32...40 мм, шириной 3 м и длиной до 24 м и конструкции из них. Таким пластинам при определенной схеме подъема можно придавать без образования в них трещин статически выгодную криволинейную форму: с отрицательной

Наименование элементов затрат	Варианты покрытий				
	I (эталон) фермы	II плиты КЖС	III плиты П	IV плиты Т (США)	V тавровые панели-оболочки
Расход: бетона, м <sup>3</sup> цемента, кг металла, кг	0,15 48,8 12,9	0,101 36 8,9	0,113 42,3 12,4	0,15 60 —	0,084 31,3 7,64/6,24*
Трудоемкость монтажных работ, чел.-дн.	0,092	0,043	0,044	—	0,043
Приведенная толщина бетона, см	15	10,1	11,3	15	8,4
Себестоимость СМР по изменяемым видам конструкций, %	100	72	73	—	63/58*
Примечание. * перед чертой — для канатной арматуры, после черты — для проволоочной.					

кривизной (см. рисунок) — для облицовки русел каналов и элементов висячих покрытий, а также с положительной — для образования составных панелей-оболочек покрытия на пролет здания.

Гибкие железобетонные пластины целесообразно применять для монтажа висячих покрытий большого пролета в промышленных и общественных зданиях. Из таких пластин можно собирать и панели складчатого и коробчатого типа, подобные тем, которые используются в текстильной промышленности и служат одновременно несущими элементами покрытий и воздуховодами искусственной вентиляции.

Помимо зданий, гибкие железобетонные пластины могут найти широкое применение при строительстве разнообразных промышленных и сельскохозяйственных сооружений в качестве элементов резервуаров прямоугольного и криволинейного очертания. Кроме того, при строительстве массивных железобетонных конструкций гибкие железобетонные пластины могут быть использованы как несъемная опалубка, облицовочные слои и даже арматурные элементы. Возможно применение таких пластин и при реконструкции зданий различного назначения.

На основе проведенных исследований, в том числе натуральных, образцов составных плит-оболочек "на пролет", предусматривающих вариацию по пролетам и нагрузкам, разработаны чертежи этих конструкций размерами 12x3, 18x3 и 24x3 м. Они предназначены для отапливаемых и неотапливаемых зданий с подвесными кранами до 50 кН. В ребрах плит имеются крупные отверстия для пропусков инженерных коммуникаций в габарите покрытия. Транспортировать плиты можно поэлементно пакетами на панелевозах с укрупнительной сборкой на стройплощадке или готовыми конструкциями. Как показал опыт, плиты со столь тонкими стенками легко выдерживают перевозку автотранспортом в городских и внегородских условиях.

В Рязани на стендовой технологической линии освоено изготовление составных панелей-оболочек покрытия таврового сечения на пролет здания 12 и 18 м. Полкой служит двухосно-преднапряженная пластина шириной 3 м, укладываемая в процессе укрупнительной сборки на другой элемент — ребро, имеющее параболическое очертание верхней грани, и соединяемая с ним с помощью сварки закладных деталей. Такая тех-

нология изготовления позволяет с помощью простейших средств формования без использования сложных металлических форм получать выгодную конструкцию элемента покрытия. В таблице приведены технико-экономические показатели покрытий (в расчете на 1 м<sup>2</sup> цеха) различных конструкций для зданий пролетом 18 м.

Отличительной особенностью конструкции Т-образных плит-оболочек из гибких пластин является их особая легкость не только в сравнении с отечественными конструкциями типа П и КЖС, но и особенно в сравнении с лучшими зарубежными аналогами. В Рязанской области с таким покрытием возведено несколько десятков зданий (в основном производственных сельскохозяйственного назначения) с большой экономической выгодой.

За разработку и внедрение конструкций из гибких железобетонных пластин и технологию их изготовления авторскому коллективу присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники 1996 г.

Метод непрерывного армирования в настоящее время является реально действующей прогрессивной ресурсосберегающей технологией изготовления изделий и конструкций различного назначения, номенклатура которых весьма значительна и может быть существенно расширена.

#### Библиографический список

1. Михайлов В.В. Развитие механизированного и автоматизированного производства сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. — № 1. — 1960. — с. 4—11.
2. Гамбаров Г.А., Гитлевич М.Б. и др. Конструкции из тонких непрерывно армированных пластин // Бетон и железобетон. — № 9. — 1984. — с. 6—8.
3. Самонапряженные и непрерывно армированные конструкции. Сборник научных трудов НИИЖБ. — М., 1989. с. 57—95.
4. Лазарев А.Д., Мартиросов Г.М. Совершенствование электротермомеханического способа натяжения арматуры. ЦРДЗ. Эффективные технологии производства сборных железобетонных изделий. Материалы семинара. — М., 1991. с. 78—84.

## Преднапряженные системы с натяжением арматуры в процессе монтажа зданий

С середины 50-х годов практически все преднапряженные конструкции в нашей стране стали изготавливать на заводах ЖБИ, где натяжение арматуры производилось с закреплением концов "на упоры" стенов или силовых форм. К середине 80-х годов общий объем таких конструкций (ферм, балок, многопустотных настилов перекрытий, ребристых плит покрытий, аэродромных плит и т.д.) составил около 30% общего количества сборных изделий, или почти 28 млн.м<sup>3</sup>.

Существуют и другие преднапряженные конструкции, у которых арматура натягивается на уже затвердевший бетон. К сожалению, таких конструкций в нашей стране производилось, в отличие от развитых стран Запада, крайне мало — не более 3% (мостовые конструкции, инженерные сооружения, трубы). Между тем такие конструкции имеют свои особенности и преимущества, которые при умелом их использовании позволяют возводить разнообразные типы жилых, гражданских и общественных зданий, а также инженерные сооружения, в том числе и выдающиеся. Примером такого сооружения может служить Останкинская телебашня в Москве.

С начала 80-х годов в Тбилиси, Чебоксарах и в других городах стали возводить каркасные здания с натяжением арматуры на затвердевший бетон в построечных условиях. Такая конструктивная система была предложена в 1957 г. в Югославии проф. Б.Жежелем и сразу привлекла своей необычностью, поскольку все элементы каркаса (плиты перекрытия, бортовые элементы и колонны) объединяются друг с другом в процессе монтажа только за счет трения и усилия обжатия. Монтаж такого каркаса достаточно прост: после установки ячейки из четырех колонн на временных ме-

таллических площадках, закрепленных на колоннах, укладываются сборные железобетонные плиты (с подрезкой по углам); далее за счет протянутых через отверстия в колоннах (в двух направлениях) арматурных элементов производится обжатие с помощью преднапряженной канатной арматуры, закрепленной анкерами на крайних колоннах. Такая плита "защемляется" между колоннами и уже может нести необходимую нагрузку. Далее необходимость во временных площадках отпадает, и участки, где располагается арматура, замоноличиваются для увеличения несущей способности перекрытия и системы в целом, а также защиты ее от коррозии (рис. 1).

Данная каркасная система является сейсмостойкой, и в 1988 г. участники ее разработки за внедрение в сейсмических районах страны (Грузия, Новороссийск, Северный Кавказ и др.) были удостоены звания лауреатов премии Совмина.

Вместе с тем данная каркасная система имеет и ряд других

преимуществ по сравнению с известными системами (крупнопанельными, монолитными, каркасными без преднапряжения и др.) вследствие снижения расхода стали, бетона и цемента (из-за отсутствия закладных элементов и арматурных выпусков), уменьшения трудоемкости при изготовлении и монтаже в связи с простотой металлической опалубки и отсутствия сварочных работ, а также повышения несущих свойств бетона, обжатого в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Система позволяет улучшить архитектурно-планировочные решения ввиду отсутствия внутренних несущих стен, а также возводить жилые дома с широким шагом и ширококорпусные здания в связи с возможностью увеличения размера ячейки (например, с 3,6х3,6 и 4,2х4,2 м, используемых в начале 80-х годов, до ячеек размерами 6х6, 6х7,2 и 7,2х7,2 м, которые применяются в настоящее время). В ряде случаев появилась возможность значительно уменьшить и число типоразмеров элементов.

С начала 80-х годов НИИЖБом совместно с рядом организаций был проведен большой объем экспериментальных, расчетно-теоретических и опытно-конструкторских работ в этом направлении, получены патенты, создана нормативная база по расчету и проектированию. Это позволило получить новые решения, которые могут быть сегодня широко использованы проектными и строительными организациями. К наиболее важным результатам следует отнести разработку технических решений каркасов для многоэтажных зданий различного назначения (жилые, общественные, производственные и др.) с разными размерами ячеек (от 3,6х3,6 до 7,2х7,2 м) для различных нагрузок. Кроме того, были разработаны технические

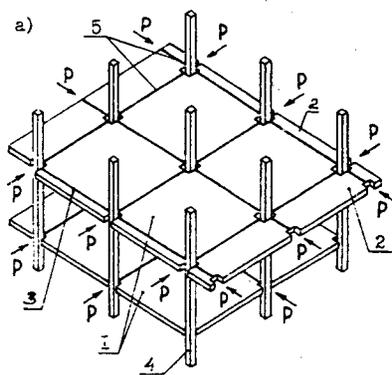


Рис. 1. Общий вид каркасной системы зданий с натяжением арматуры в построечных условиях

1 — плита; 2 — бортовой элемент; 3 — преднапряженная арматура; 4 — колонна; 5 — монолитный участок

решения и малоэтажных зданий каркасной и бескаркасной системы, в которых практически все несущие элементы (фундаменты, перекрытия, стропила и др.) являются преднапряженными и составленными из мелкоштучных железобетонных элементов разного размера и массы. При строительстве таких домов составляющие их элементы объединяются только путем натяжения арматуры на монтаже (практически без металлических закладных деталей и сварочных работ).

Важно отметить, что было создано новое отечественное оборудование для осуществления процесса натяжения арматуры на затвердевший бетон (гидродомкраты, насосные станции, анкеры и т.д.), а также оборудование и оснастка для монтажа зданий, т.е. практически можно было обходиться без использования продукции инофирм. Отечественный гидродомкрат и простейшие анкеры для натяжения арматуры, на которые сотрудниками НИИЖБа получены патенты, могут быть изготовлены механическими мастерскими и строительными организациями. Это оборудование конкурентоспособно с зарубежными аналогами (например, с югославскими) по стоимости, по простоте эксплуатации, ремонта и надежности, а предлагаемые опрессованные анкеры имеют несущую способность, характерную для канатной арматуры (24 тс), что позволяет успешно их использовать и для зданий, возводимых в сейсмических районах. Наконец, впервые создана нормативная база: составлены инструкции и рекомендации по расчету, проектированию и технологии монтажа зданий, а также разработаны проекты производства работ (ППР) по натяжению арматуры.

Сотрудники лаборатории НИИЖБа, возглавляемой автором данной статьи, могут оказывать широкую консультативную и научно-техническую помощь, вести техническое сопровождение строительных объектов и принять участие во всех работах по натяжению арматуры, контролю качества, выполнять испытания зданий в процессе возве-

дения, создавать службы контроля на стройках.

Следует отметить, что при проведении ряда конструктивных и технологических мероприятий оказалось возможным значительно снижать прочность бетонных элементов перекрытий по сравнению с той, что требовалась до последнего времени. Это позволяет уменьшить расход цемента и общую стоимость сооружения. Кроме того, предложены перекрытия, которые могут быть составлены не только из одного или двух элементов, но и из нескольких элементов, из разных видов бетона (легкого, ячеистого), в том числе и низкой прочности (менее В15), которые ранее не использовались. При этом выявлены оптимальные типы плит (плоские, ребристые, многопустотные) для разных размеров ячеек и нагрузки. В ряде случаев удалось установить возможность применения различных классов арматуры — как канатной, так и стержневой.

Для улучшения технико-экономических показателей данной конструктивной системы на основе многовариантных расчетов, а также испытаний натуральных фрагментов и реальных зданий в процессе строительства в систему удалось внести ряд новых конструктивных решений и внедрить технологические мероприятия, которые увеличивают общую надежность и качество каркасных и бескаркасных зданий, а в ряде случаев уменьшают трудоемкость их монтажа за счет упрощения армирования.

Следует отметить разработанные новые допуски по точности натяжения арматуры при контроле в процессе возведения зданий, так как существующие допуски приемлемы только для конструкций заводского производства с натяжением арматуры "на упоры" форм и стенда. Сравнения этих допусков показали, что они различны и должны приниматься расчетным путем для конкретного типа перекрытия, размера ячейки и величины нагрузки.

В последние годы проведены работы по расширению области применения рассматриваемых конструктивных систем при одновременном улучшении их тех-

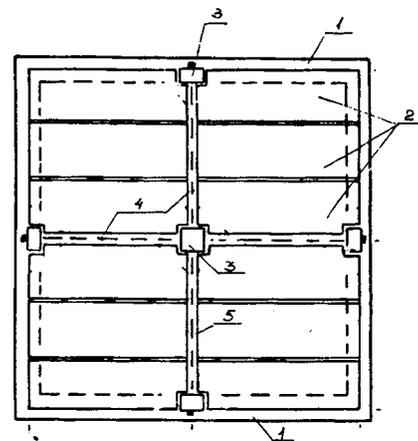


Рис. 2. Перекрытия бескаркасной системы, состоящие из мелкоштучных плитных элементов из разных видов бетона (тяжелый, легкий, ячеистый)  
1 — стена; 2 — мелкоштучные плитные элементы; 3 — сборные железобетонные бобышки; 4 — преднапряженная арматура; 5 — монолитный участок

нико-экономических показателей. Каркасные и бескаркасные системы с натяжением арматуры в построечных условиях предложено применять для реконструкции зданий старой застройки.

Созданы технология и новые конструкции для замены перекрытий, по усилению старых фундаментов, по использованию основ системы в несущих элементах кровли (стропилах) и стенах. Разрабатываются технические решения по реконструкции пятиэтажных зданий, возведенных в 50—70-х годах. В результате такой реконструкции можно получить новое здание с несколькими дополнительными этажами, а также увеличенными габаритами в плане, что позволяет существенно улучшить планировку квартир, пристроить лифтовые шахты, мусоропровод, лоджии, балконы. В этих решениях можно отказаться от утепления наружных стен и использовать элементы заводского изготовления, а сам процесс возведения реконструируемого дома поставить "на поток". Из-за дополнительных нагрузок на стены в данном случае приходится усиливать старые фундаменты и объединять их с новыми в единое целое, но без значительных зем-

ляных работ. При отсутствии возможности использования башенных и других кранов большой грузоподъемности новые перекрытия, лоджии, кровля и другие элементы здания могут быть смонтированы из мелкоштучных элементов малого размера и массы. Это позволяет отказаться от колонн и использовать бескаркасные системы (рис. 2), для которых можно применять легкие и ячеистые бетоны. На все указанные конструкции получены патенты РФ.

Для дальнейшего расширения области применения рассматриваемых систем на основе проведенных исследований выпущены рекомендации по проектированию многоэтажных промзда-

ний, подверженных действию агрессивной среды.

В результате разработки новой технологии, рекомендаций по проектированию и возведению каркасных и бескаркасных систем при участии НИИЖБа построены несколько десятков 16-этажных жилых домов (Новороссийск, Невинномысск, Тбилиси, Ташкент), АТС, школа и переговорный пункт (Чебоксары), многоэтажная гостиница "Чегет-II" на Северном Кавказе, трехэтажная столовая санатория в Тбилиси. В настоящее время в стадии возведения находятся жилой дом в Краснодаре (ячейка 6x6 м), несколько корпусов жилых многоэтажных зданий (ячейки 6x7,2 м) и многоэтаж-

ный гараж-стоянка на 500 машин в Москве. Всего в России и СНГ отмечено более сорока регионов, где возводятся или ведутся подготовительные работы к строительству зданий с использованием конструктивных систем с натяжением арматуры в построечных условиях.

Большой интерес строителей к таким системам вызван тем, что во всех перечисленных зданиях получен значительный экономический эффект по расходу арматуры, бетона, стали и трудоемкости при простоте форм железобетонных элементов и технологии возведения, а также общей надежности зданий различного назначения.

## НИИЖБ

**П О С Т А В Л Я Е Т** формовочное и бетоносмесительное оборудование, в том числе формовочные комплексы для производства мелкоштучных бетонных и железобетонных изделий:

- вибропрессы (полуавтоматы, автоматы), установки роликового формования
- бетоносмесители принудительного действия с вертикальным валом вместимостью по загрузке до 350 л
- оснастку для изготовления изделий различных видов

**О С У Щ Е С Т В Л Я Е Т:**

- проектные, монтажные и пусконаладочные работы
- предпродажную подготовку оборудования
- демонстрацию формовочных комплексов и технологических линий в работе
- разработку технологической документации и бетоноведческие исследования
- продажу сертифицированных мелкоштучных бетонных и железобетонных изделий, изготавливаемых на опытно-экспериментальной базе института: тротуарную плитку разного цвета, размера (в том числе "брусчатку"), газонный камень, блоки стеновые (в том числе утепленные), кольца железобетонные и т.п.
- доставку изделий в пределах Московской области
- консультации по общестроительным работам

**Р А З Р А Б А Т Ы В А Е Т:**

- нормативно-конструкторскую и техническую документацию, рабочие чертежи оборудования и оснастки, технические условия на изделия, проводит сертификацию

*Научный производственно-технологический центр НИИЖБа  
т/ф 174-78-02, т. 174-72-04*

## Разработка, исследование, диагностика и усиление железобетонных конструкций

Лаборатория железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБа создана в 1987 г. в результате объединения лаборатории железобетонных конструкций (одной из старейших лабораторий института, ранее руководимой проф. А.П.Васильевым) и лаборатории контроля качества железобетонных конструкций, образованной в 1981 г.

Ко времени объединения работы лабораторий велись в направлении разработки и исследования:

сборных и монолитных конструкций одноэтажных и многоэтажных зданий;

стыков и узлов сопряжений сборных конструкций;

монолитных конструкций; неразрушающих методов контроля качества железобетонных конструкций;

вопросов обследования и усиления железобетонных конструкций.

По первому направлению проводились исследования конструкций из высокопрочных и песчаных бетонов, фундаментов, колонн, ригелей, стропильных и подстропильных ферм. Эти исследования использованы при разработке многих типовых конструкций, получивших широкое применение в строительстве. Лаборатория участвовала в работах практически всех ведущих проектных организаций по созданию типовых конструкций.

Большая работа выполнена лабораторией по изучению совместной и пространственной работы каркасов одноэтажных производственных зданий. Эти исследования, проводимые совмест-

но с ПИ-1, ХаБииЖТом, Литпромпроектом, трестом Оргтехстрой Минстроя ЛитССР, способствовали снижению материалоемкости конструкций и явились основой для создания нового типа каркасов — с элементами жесткости. Данная работа велась совместно также с ЦНИИПромзданий, Белпромпроектом, БПИ. Был выполнен комплекс необходимых исследований и подготовлены материалы для проектирования. В связи с сокращением объемов промышленного строительства эта работа пока не получила достаточно широкого практического применения. Однако следует ожидать использования ее результатов в дальнейшем при проектировании и реконструкции производственных зданий.

Исследованы стыки и узлы сопряжений сборных железобетонных колонн, колонн с фундаментами и ростверками, колонн с ригелями и плитами перекрытий многоэтажных зданий, стропильных и подстропильных конструкций с колоннами, стеновых панелей с колоннами. Большой объем исследований проведен по закладным (в том числе штампованным) деталям как элементам стыков. В результате этих исследований разработаны положения, которые легли в основу действующих в настоящее время пособий-рекомендаций по проектированию фундаментов на естественном основании, по проектированию железобетонных ростверков, рекомендаций по проектированию и выполнению стыков железобетонных колонн, по проектированию

стальных закладных деталей. Изучены отдельные технологические процессы, например инъецирование стыковых полостей, каналов в конструкциях, штамповка закладных деталей и т.п.

В области монолитных конструкций проводились исследования, связанные с использованием профилированного настила в качестве несъемной опалубки, в том числе с учетом включения его в работу. Исследованы также сборно-монолитные конструкции с внешним армированием. В результате этих работ предложены рекомендации по проектированию монолитных железобетонных перекрытий со стальным профилированным настилом, которые имеют широкое применение как в новом строительстве, так и при реконструкции зданий.

В области неразрушающих методов контроля качества наибольший объем исследований был проведен по механическим, магнитным и радиографическим методам. Лаборатория явилась участником разработки всех основных стандартов по неразрушающим методам контроля качества. Работа велась в тесном контакте с ВНИИжелезобетоном, НИИСКом, Оргэнергостроем, Главкиевгорстроем, Главсредневожскстроем, Минстроем ЛитССР и другими организациями. В результате была разработана методика неразрушающего контроля качества наиболее массовых конструкций (плоских и многопустотных плит перекрытий, стеновых панелей и т.п.), которая широко использовалась на многих предприятиях.

В значительно меньшем объеме проводились исследования, связанные с контролем качества монолитных железобетонных конструкций и обследованием эксплуатируемых железобетонных конструкций. Из числа этих работ можно отметить исследования по использованию бетатронной дефектоскопии. В небольшом объеме проводились также исследования, связанные с усилением железобетонных конструкций.

До недавнего времени работы в области диагностики железобетонных конструкций занимали примерно 30% в общем объеме лаборатории. В настоящее время положение резко изменилось. Практически прекращены исследования, связанные с совершенствованием или созданием конструкций. Работы в этой области ограничиваются незначительной реализацией имеющегося задела исследований. Основным направлением работ лаборатории стала техническая диагностика и усиление эксплуатируемых конструкций. Но и в этой области произошла переориентация.

Увеличен объем работ по неразрушающим методам контроля прочности монолитного бетона. В частности, проведены исследования, связанные с контролем прочности бетона в молодом возрасте, и по использованию ультразвукового метода и метода ударного импульса для контроля прочности бетона монолитных конструкций. Сотрудники лаборатории осуществляли неразрушающий контроль прочности бетона при возведении многих ответственных зданий (комплекса зданий Мострансгаза, ряда сооружений ТРК на Манежной площади, первой очереди Российского культурного центра "Красные холмы" и др.). В процессе этой работы накоплен большой материал о фактической прочности

бетона непосредственно в монолитных конструкциях и по поставлению этой прочности с прочностью бетона контрольных кубов. Работа продолжается и требует еще обобщения, так как эти данные чрезвычайно важны при переходе к вероятностным методам расчета.

Лаборатория сотрудничает с предприятиями "КАРАТ" и "АКС", являющимися разработчиками и изготовителями вполне современных приборов неразрушающего контроля.

Большие работы ведутся в области технической диагностики при обследовании железобетонных конструкций. Помимо решения общеметодических вопросов (был подготовлен проект стандарта, посвященный общим положениям проведения обследований), ведутся наблюдения по учету дефектов и повреждений при проведении поверочных расчетов конструкций. В частности, совместно с СамАСА ведутся исследования, направленные на учет нарушения сцепления арматуры с бетоном при выполнении таких расчетов.

Проводятся консультации проектных и производственных организаций по тем вопросам, которыми занималась лаборатория. Когда однотипные вопросы заказчиков начинают повторяться, лаборатория изыскивает пути их обобщения и разрабатывает материал, на основе которого получает возможность решать однотипные вопросы без проведения дополнительных экспериментов. Из числа наиболее интересных работ этого направления следует упомянуть консультации Промстройпроекта при проектировании основания Монумента Победы на Поклонной горе и консультации Мосинжпроекта при проектировании некоторых сооружений на Манежной площади. Однако боль-

шая часть работ по заказам относится к оценке технического состояния железобетонных конструкций. Иногда такие работы, проводимые при обследовании однотипных сооружений, но решенных в отличающихся конструкциях и имеющих различные сроки эксплуатации, позволяют сделать выводы, выходящие за рамки поставленных заказчиком задач. Так, например, обследование железобетонных конструкций подземных резервуаров системы Мосводоканала со сроками эксплуатации от 40 до 95 лет позволило назвать (определить) наиболее целесообразные для длительной эксплуатации конструкции перекрытий — перекрытия с перекрещивающимися балками и шагом колонн 2,4 м.

Проводимые лабораторией работы в области усиления охватывают в основном две области. Это усиление конструкций за счет изменения их статической схемы и усиление конструкций, находящихся под нагрузкой. Так, например, лабораторией предложен способ усиления колонн и фундаментов одноэтажных производственных зданий путем введения элементов жесткости. Совместно с ПГУ (республика Беларусь) изучена работа нормальных сечений изгибаемых элементов, усиливаемых под нагрузкой. Это позволило создать методику расчета прочности нормальных сечений.

Имеющийся в лаборатории багаж знаний, накопленный при разработке и исследовании новых конструкций, безусловно, частично реализуется в делах, связанных с обследованием и усилением. Он позволяет давать объективную оценку состояния конструкций, прибегать к их усилению только в необходимых случаях и при этом предлагать наиболее рациональную его схему.

## Регулируемое расширение бетона — реальный путь повышения эффективности железобетонных конструкций

Повсеместно применяемый в настоящее время бетон на основе портландцемента является одним из основных строительных материалов и по праву занял ведущее место в монолитном и сборном железобетоне. Однако усадочные деформации, сопровождающие твердение портландцемента, и изменение температурно-влажностных условий эксплуатации вынуждают принимать дополнительные меры для повышения трещиностойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости и других важных технических, товарных и эксплуатационных свойств железобетонных конструкций.

В результате многолетних исследований, проведенных отечественными и зарубежными учеными, получен результат, в значительной мере устраняющий последствия усадочных деформаций в бетоне. Был создан новый вид вяжущих, которые, в отличие от традиционного цемента, в процессе твердения увеличиваются в объеме. Эти вяжущие могут быть объединены в одну группу под названием "расширяющиеся цементы" (РЦ). Они предназначены для создания в бетоне деформаций расширения, в частности, превышающих деформации усадки, что позволяет получать в железобетоне самонапряжение. Исследования, выполненные нашим выдающимся ученым, проф. В.В.Михайловым и его коллегами, создали теоретические и практические предпосылки, позволившие получить бетоны на РЦ с регулируемым (в соответствии с заранее заданными параметрами) расширением.

Практический опыт применения бетонов с регулируемым расширением в монолитных и сборных железобетонных сооружениях жилого, гражданского, промышленного строительства и машиностроения показал, что во многих случаях использование таких бетонов дает возможность получать конструкции, которые превосходят по своим техническим, эксплуатационным и экономическим характеристикам аналогичные железобетонные конструкции из бетонов на портландцементе. Это связано с тем, что бетоны на РЦ отличаются от бетонов на портландцементе повышенным сопротивлением растяжению, лучшей трещиностойкостью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и коррозионной стойкостью [4].

Наиболее распространенным видом РЦ в нашей стране является расширяющий цемент (НЦ). Следует отметить, что последний не случайно получил свое название, поскольку отличается способностью расширяться в период, когда цементный камень уже имеет прочность 80...150 МПа, которой достаточно для сцепления бетона с арматурой. Таким образом, бетон, расширяясь, растягивает арматуру и преднапрягает ее. Этот процесс получил название самонапряжение, а бетоны, способные его создать, называли расширяющими.

С 1972 г. производство НЦ было освоено цементной промышленностью (Усть-Каменогорским, Краматорским, Днепродзержинским, Волковысским, Подольским и другими цементными заводами) по Техническим условиям и технологическим регла-

ментам, разработанным НИИЖБом и НИИЦементом.

Бетоны с регулируемым расширением условно могут быть разделены на две основные группы: бетоны напрягающие и бетоны с компенсированной усадкой. Их отличие заключается в том, что составы напрягающих бетонов подбираются из условия получения максимальной величины самонапряжения [1, 3]. В этом случае расход РЦ в бетоне оказывается существенно большим, чем того требовало бы условие обеспечения необходимой прочности. Состав же бетона с компенсированной усадкой подбирается по традиционной методике [2, 5]. Расход РЦ в нем определяется требуемой прочностью и, как правило, ниже, чем в напрягающем бетоне. Отсюда заметная разница в цене, а также в физико-механических и деформационных свойствах напрягающих бетонов и бетонов с компенсированной усадкой. При этом следует иметь в виду, что при проектировании конструкций из напрягающих бетонов обязательно нормируется и учитывается в расчетах величина самонапряжения. При проектировании конструкций из бетонов с компенсированной усадкой величина самонапряжения не нормируется, и в расчетах ее можно не учитывать или учитывать по факту, если она известна.

Исследования последних лет показали, что РЦ можно изготавливать не только на предприятиях, но и получать в построечных условиях механическим смешиванием портландцемента и расширяющей добавки (РД). При этом расход цемента умень-

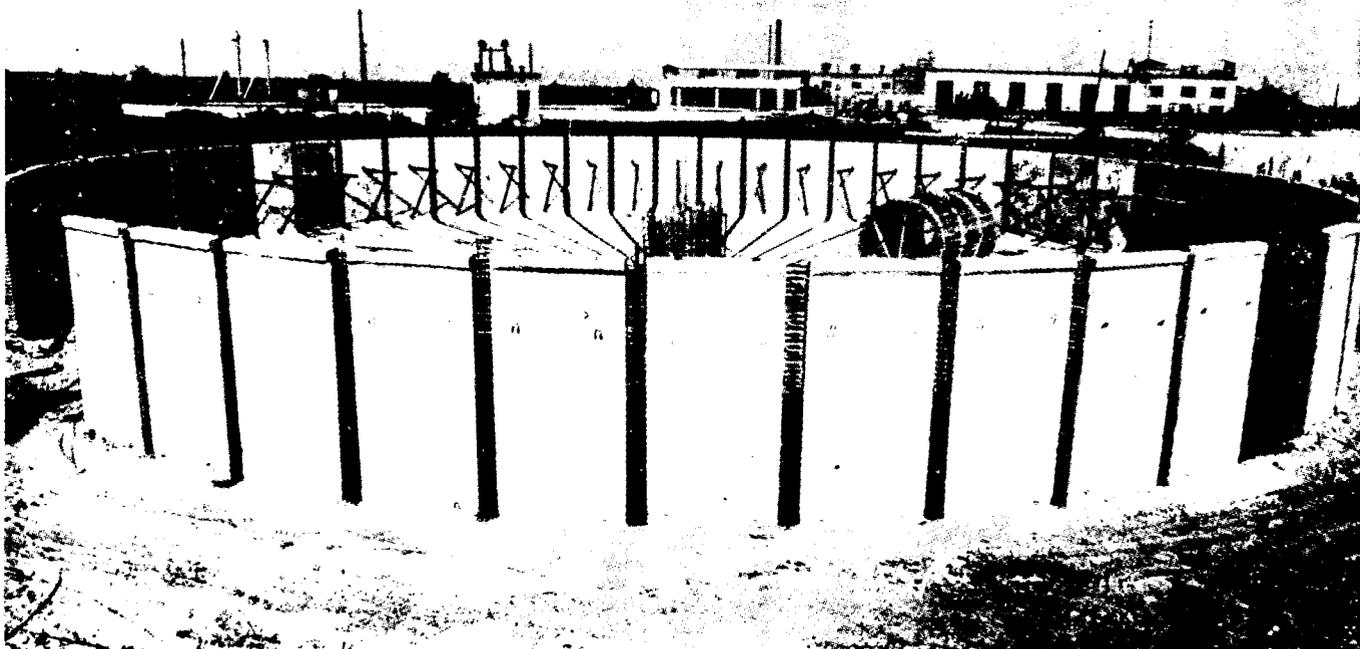


Рис. 1. Сборный цилиндрический резервуар

шается на количество вводимой добавки. В настоящее время разработана гамма РД с использованием местного сырья ряда регионов России, что дает возможность применять РЦ при строительстве объектов, не имея специального цементного производства.

Такие качества бетонов с регулируемым расширением, как компенсация усадки или самонапряжение, практическая водонепроницаемость, а также их повышенная прочность и соответственно трещиностойкость при растяжении, уже в середине 60-х годов определили первые, наиболее эффективные области применения этих бетонов. Ими стали конструкции и элементы, к которым предъявляются повышенные требования по трещиностойкости и водонепроницаемости: трубы напорные и безнапорные, бассейны, емкости различного назначения, подземные,

подводные конструкции и сооружения, стыки.

Технологические железобетонные емкости водоснабжения Новосибирска объемом более 200 тыс.м<sup>3</sup> (фильтры, отстойники и др.) эксплуатируются с 1967 г. С тех пор они не потребовали текущих или капитального ремонтов и освободили эксплуатационные службы от соответствующих затрат. Тогда же для бетона на РЦ была освоена технология зимнего бетонирования. Одним из первых наиболее ярких опытов применения бетона с регулируемым расширением стало строительство искусственной конькобежной дорожки и ледового поля на стадионе "Медео" в Казахстане в 1972 г. Высокие требования к качеству и долговечности охлаждающей плиты покрытия искусственной конькобежной дорожки международного класса протяженностью 400 м обусловили стремление исклю-

чить в ней деформационные швы. Строители и проектировщики приняли предложение НИИЖБа решить эту проблему с помощью бетона на НЦ. Двадцатипятилетняя эксплуатация охлаждающей железобетонной плиты покрытия (с трубами системы замораживания) в контрастных климатических условиях высокогорья (1700 м над уровнем моря) подтвердили высокую стойкость бетона, прочность которого превысила 100 МПа при исходной (проектной) прочности 40 МПа. В дальнейшем этот опыт был широко использован, в частности, при подготовке спортивных объектов Москвы к Олимпиаде-80.

Наиболее многогранен опыт использования бетонов с регулируемым расширением в инженерных сооружениях. Трестом "Алтайсвицестрой" (г.Усть-Каменогорск) по рекомендациям и при участии НИИЖБа были раз-

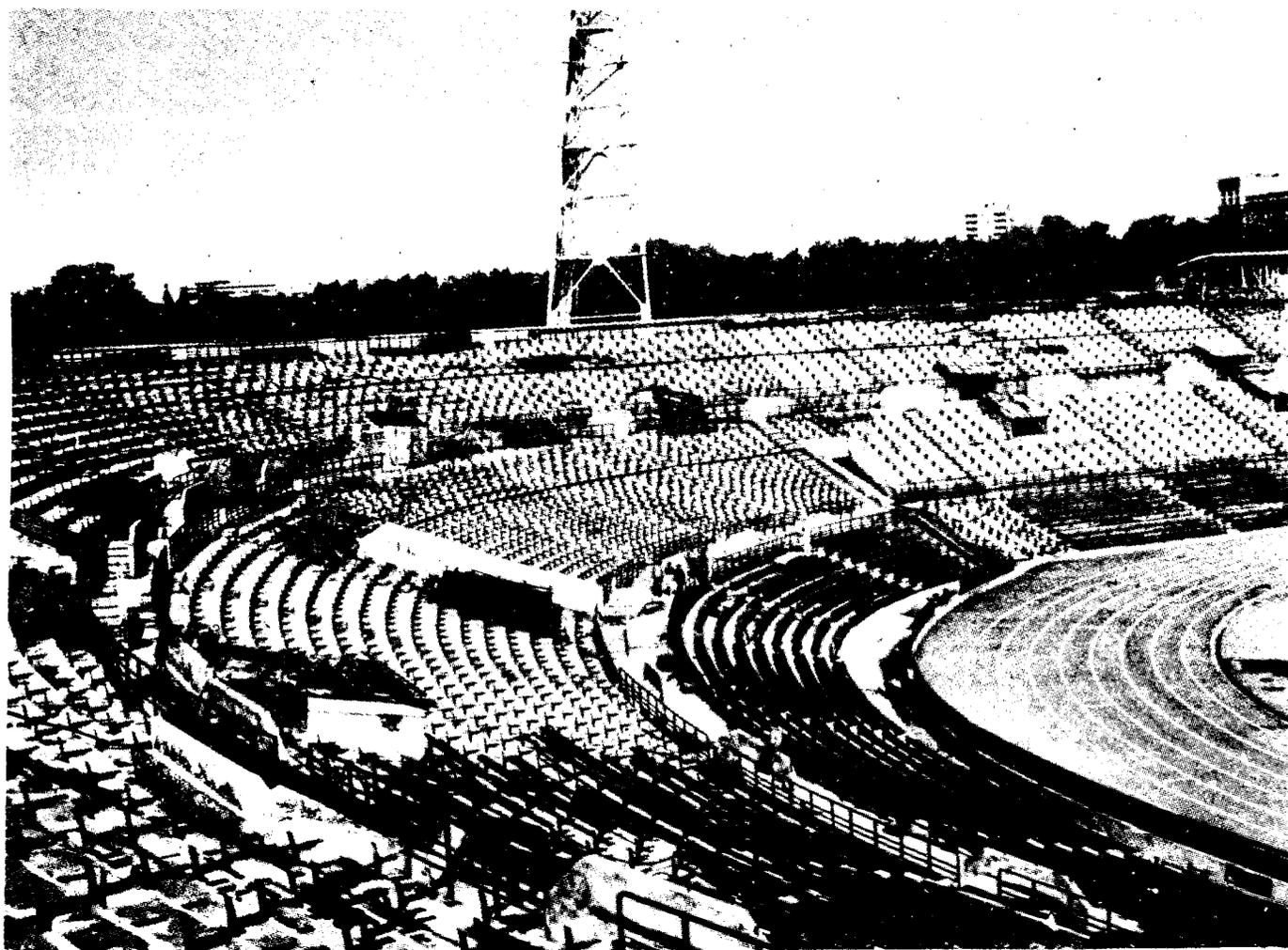


Рис. 2. Монолитная ступенчатая гребенка трибуны стадиона

работаны и построены сборные цилиндрические резервуары (отстойники) диаметром 18 и 24 м, а также водопроводные и канализационные насосные станции при высоком уровне грунтовых вод. Сооружения выполнены на основе самонапряженного стыкования сборных элементов с петлевыми арматурными выпусками, без традиционной навивки кольцевой арматуры и последующего торкретирования для ее защиты (рис. 1). Это существенно упростило технологию работ и сократило продолжительность строительства, что дало значительный экономический эффект с одновременным повышением качества, надежности и, как по-

казала 20-летняя эксплуатация, срока службы конструкций. С учетом этого опыта по инициативе НИИЖБа Союзводоканалпроектом и Ростовским Водоканалпроектом разработана серия экспериментальных проектов (на правах типовых) сборных цилиндрических отстойников диаметрами 9, 18, 24, 30 и 40 м, рекомендованных Госстроем для массового применения в строительстве.

С 70-х годов бетоны с регулируемым расширением применяются в метростроении для отделки перегонных и других тоннелей глубокого и мелкого заложения с напором грунтовых вод до 0,2 МПа.

Высокая плотность, водонепроницаемость и морозостойкость, повышенная прочность по сравнению с бетоном на портландцементе при тех же расходах вяжущего позволили эффективно применять бетоны с регулируемым расширением для ряда конструкций большой протяженности: покрытий дорог, аэродромов, трибун стадионов, полов, кровель и т.п. Это дало возможность в несколько раз увеличить в них расстояние между деформационными швами, что положительно отразилось на надежности и экономической эффективности сооружений.

Технология возведения каждого сооружения, будь то стади-

он, покрытие пола или кровля, имела свои особенности. Однако выбранные способы бетонирования легко осваивались строителями и обеспечивали высокое качество работ. Например, в трибунах стадионов несущая монолитная ступенчатая гребенка была запроектирована так, что она выполняла роль несущей конструкции и гидроизолирующего покрытия и имела температурные швы только в радиальном направлении (рис. 2). Это позволило полностью исключить протечки в подтрибунных помещениях. Такую технологию использовали при реконструкции стадионов в Москве, Санкт-Петербурге, Ташкенте, Ереване, Нальчике и др.

В сложных условиях эксплуатируются конструкции безрулонных кровель, подвергаемые неблагоприятным для бетона атмосферным и климатическим воздействиям. Применение бетонов с регулируемым расширением позволило не только обеспечить водонепроницаемость и трещиностойкость кровельных конструкций, но и отказаться от обмазочной или пропиточной гидроизоляции. Бетоны на РЦ, модифицированные химическими добавками, могут эксплуатироваться под воздействием атмосферной агрессии 50 лет и более без какой-либо дополнительной защиты. Большой опыт строительства и эксплуатации таких кровель, выполненных с использованием разработок НИИЖБа, накоплен в Кузбассе, в Средней Азии, на Северном Кавказе и в других регионах России и СНГ.

Особый интерес представляют бетоны с регулируемым расширением для ремонтных и восстановительных работ, когда требуется обеспечить надежное сцепление старого и нового материалов. Известно, что каменные материалы, в том числе и

искусственные, к которым относится бетон, в период своей службы постоянно "дышат". Рано или поздно они отторгают от своей поверхности любой материал, ограничивающий влагообмен с внешней средой. Поэтому восстанавливать каменные (кирпичные, бетонные) конструкции следует материалом, близким им по своей природе. Для этих целей отлично бы подходил бетон, но его усадка вызывает значительные напряжения в зоне контакта старого и нового материалов, что нередко приводит к нежелательным последствиям. Технология бетона с регулируемым расширением позволяет запроектировать его состав так, что усадочные деформации полностью компенсируются и контактные напряжения не возникают.

Перспективно использование бетонов с регулируемым расширением в различных сборных и монолитных конструкциях, армированных фиброй, Фибробетон на основе РЦ в результате специфического объемного напряженного состояния имеет повышенные строительно-технические характеристики, которые могут быть определены и учтены расчетными методами.

Новой областью применения бетонов с регулируемым расширением являются сооружения для хранения и захоронения радиоактивных отходов. Проведенные в НИИЖБе исследования показали, что повышенное содержание водорода в составе химически связанной воды в этtringите цементного камня из РЦ обуславливает высокие защитные свойства бетона по отношению к радиационным воздействиям, особенно к нейтронному излучению.

С расширением областей применения бетонов на НЦ большое внимание уделялось проблеме долговечности конструкций. Благодаря повышенной

плотности бетонов все деструктивные процессы при агрессивных воздействиях протекают значительно медленнее. В результате связывания сбалансированного количества реакционно-способных оксидов портландцемента и расширяющегося компонента в гидросульфаталюминат кальция удалось получить долговечный материал нового поколения.

## Выводы

В результате многолетних исследований учеными НИИЖБа разработан новый вид бетона с регулируемым расширением, имеющий высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики:

повышенная прочность  
при сжатии . . . . . на 10...15%;  
при растяжении . . . . . на 20...30%;  
марка по водонепроницаемости . . . . . не ниже W12;  
марка по морозостойкости . . . . . более F300;  
атмосферостойкость . . . . . не менее 1500 циклов;  
водопоглощение по массе . . . . . не более 4%

Бетоны с регулируемым расширением относятся к группе материалов с заранее заданными свойствами и предназначены для широкой номенклатуры сборных и монолитных железобетонных конструкций различного назначения.

## Библиографический список

1. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции. — М.: Стройиздат, 1974.
2. ТУ 67-938-87 Бетон на напрягающем цементе.
3. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84) НИИЖБ. — М., ЦИТИ Госстроя СССР, 1986.
4. Тематические номера журнала "Бетон и железобетон". — № 5, 1976 г. и № 4, 1981 г.
5. Звездов А.И., Мартиросов Г.М. Бетоны с компенсированной усадкой // Бетон и железобетон. — № 3. — 1995.

## Развитие расчета железобетонных оболочек на основе метода предельного равновесия

Теория предельного равновесия была и остается в центре того круга вопросов, которые возникают как при проектировании, так и при проведении исследований, поскольку позволяет непосредственно дать оценку несущей способности железобетонных конструкций.

Величину разрушающей нагрузки, действующей на конструкцию, можно определить либо путем исследования полного процесса упруго-пластического деформирования вплоть до разрушения, либо с помощью анализа только состояния разрушения. При этом для описания свойств материалов вводятся определенные гипотезы, характеризующие жестко-идеально-пластическую модель деформирования. Тогда разрушающая нагрузка связывается с началом пластического движения и называется предельной.

Напряженное состояние всех элементов конструкций в такой стадии называется состоянием предельного равновесия.

Теория предельного равновесия относится к числу наиболее разработанных, обоснованных и имеющих наибольшее практическое значение разделов современной теории пластичности. В ее основе лежат фундаментальные работы А.А.Гвоздева, А.А.Ильюшина, В.Прагера, А.Р.Ржаницына, П.Ходжа и многих других известных отечественных и зарубежных ученых.

Основные принципы теории предельного равновесия были заложены в выдающихся работах А.А.Гвоздева, который еще в 1934 г. сформулировал, а затем привел доказательство основных теорем об экстремальных свойствах нагрузок [1]. Из этих теорем следуют два основных принципа метода предельного равновесия — кинематический и статический. Основное значение

обоих принципов заключается в том, что статический принцип дает возможность оценивать снизу, а кинематический — сверху величину разрушающей нагрузки.

Применительно к задачам о несущей способности железобетонных оболочек хорошо разработан кинематический метод предельного равновесия с использованием понятия о пластических шарнирах. Статический метод также применяется для предельного анализа железобетонных оболочек, однако получил меньшее распространение. Необходимо отметить при этом, что наиболее полное представление о величине предельной нагрузки дает двусторонняя оценка, т.е. статическая и кинематическая.

Фундаментальные работы А.Р.Ржаницына послужили отправной точкой для целого ряда исследований в области предельного анализа оболочек. Для расчета жестко-пластических оболочек кинематическим методом он ввел в рассмотрение идеальную модель сосредоточенных пластических деформаций и затем вывел важную теорему о положении осей взаимного вращения жестких дисков, на которые разделяется оболочка к моменту исчерпания несущей способности.

Впервые задачу об определении несущей способности положительной гауссовой кривизны на основе кинематического метода поставили и решили в 1952 г. Н.В.Ахвледиани и В.Н.Шаишмелашвили.

При расчете несущей способности железобетонных оболочек предполагается, что к моменту исчерпания несущей способности конструкция расчленяется пластическими шарнирами на несколько жестких дисков. Вид и

характер пластического механизма, конфигурация и относительная величина дисков в схеме излома зависят от вида нагрузки, свойств поверхности и условий закрепления контура. Эти факторы достаточно обстоятельно выявлены экспериментально.

Экспериментально-теоретический подход к решению задач прочности вспарушенных плит и оболочек на основе кинематического метода предельного равновесия достаточно полно отражен в работах НИИЖБа (Г.К.Хайдуков, Ю.В.Чиненков, В.В.Шугаев и др.).

Развитию кинематического анализа несущей способности жестко-пластических армированных оболочек различного типа посвящено большое число работ, опубликованных в различных изданиях, остановиться на которых нет возможности из-за малого объема публикации.

Несмотря на огромный опыт экспериментальных и теоретических исследований несущей способности железобетонных оболочек, большинство решенных и опубликованных задач относится к сравнительно простым конструктивным формам и простой форме нагрузок. Для упругих оболочек метод конечных элементов и другие конечные методы позволяют составить алгоритмы решения задач с помощью ЭВМ для весьма сложных конструкций. Для этого используются системы уравнений с очень большим числом неизвестных, но имеющие удобную блочно-ленточную структуру. Весьма заманчивой оказывается идея применить подобные методы в теории предельного равновесия.

В этом направлении одной из первых была работа А.Р.Ржаницына [2], посвященная расчету плит и оболочек методом сетки разрушения. В соответствии с этим методом поверхность обо-

лочки покрывается некоторой сеткой возможных линий разрушения, что превращает оболочку в механизм со многими степенями свободы. Считается, что пластическое разрушение может происходить только по линиям заданной сетки, а диски между ними остаются жесткими. Внешняя нагрузка сводится в узлы сетки, которым придаются некоторые смещения. Мощность внешних нагрузок определяется как скалярное произведение вектора нагрузки на вектор скоростей перемещения узлов, а скорость диссипации энергии — как скалярное произведение вектора предельных моментов усилий на участках сетки относительно плоскости осей вращения на вектор скоростей пластических поворотов. В соответствии с кинематическим методом ищется минимум параметра нагрузки. Кинематические соотношения между скоростями пластических поворотов в шарнирах и скоростями перемещений узлов сетки образуют систему кусочно-линейных ограничений. К этим ограничениям добавляются кусочно-линейные ограничения, накладываемые на величины предельных моментов усилий относительно плоскости осей вращения и условия неотрицательности всех неизвестных. Далее с помощью преобразований задача сводится к циклу задач линейного программирования.

Несколько отличный ход решения задачи расчета тонкостенной железобетонной оболочки, подкрепленной ребрами, предложил А.М.Проценко в работе, написанной совместно с А.А.Гвоздевым [3]. Он рассматривает оболочку как систему, состоящую из конечных элементов в виде тонкой плиты в форме трапеции, способной воспринимать только безмоментное напряженное состояние, и подкрепляющих элементов в виде тонких полос, способных воспринимать только нормальные силы и изгибающие моменты в своей плоскости. Выбираются соответствующие условия пластичности, разделяющиеся для плитных и линейных элементов.

Следует отметить, что формулировка условий прочности (пластичности), близко отражающих реальные свойства железобетона, является одним из важнейших факторов при решении задач о несущей способности оболочки, особенно при использовании ЭВМ.

Из ранних работ наиболее важными для железобетонных конструкций плит и оболочек явились работы К.Иогансона, изложившего метод нахождения верхней границы предельной нагрузки, действующей на железобетонную плиту, на основе предложенного им условия пластичности для цилиндрических шарниров текучести, и А.А.Гвоздева [4]. Позднее, применительно к расчету оболочек различные предложения сформулированы в работах Г.А.Гениева [5], З.Мроза, В.Прагера и др.

Условия прочности, учитывающие совместное действие моментов и нормальных сил, а также армирование в виде прямоугольной сетки, практически одновременно были рассмотрены в работах Н.И.Карпенко [6] и С.Морли. В последующих работах Н.И.Карпенко были предложены условия прочности для общего случая напряженного состояния железобетонных пластин и оболочек — совместного действия изгибающих и крутящих моментов, а также нормальных и касательных сил. Рассматривались железобетонные элементы, армированные в общем виде шестью слоями арматуры с четырьмя схемами расположения трещин текучести (пересекающиеся, не пересекающиеся, на нижней или верхней поверхностях, сквозные и т.п.). Указанные условия прочности были применены для расчета ряда оболочек, главным образом цилиндрических [7].

Несмотря на большое количество работ, посвященных расчету несущей способности оболочек, часть из которых рассмотрена выше, и значительный вклад, который они внесли в развитие и применение теории предельного равновесия, все они ограничены рамками геометрически линейной теории, основан-

ной на концепциях жестко-пластического тела. При этом из рассмотрения совершенно выпадают деформации конструкции, влияние которых для некоторых типов оболочек, особенно полых, оказывается весьма существенным. Поэтому столь важным оказывается применение метода предельного равновесия не только для жестко-пластических, но и для упруго-пластических оболочек и на базе этого распространения его на область геометрически нелинейных задач [3, 8]. При расчете по деформированному состоянию задача предельного равновесия переходит в задачу устойчивости, в смысле разыскания предельной точки (максимума) на кривой состояния равновесия. Если представить, что в процессе пластического деформирования нагрузка способна уменьшаться таким образом, что обеспечивается непрерывный процесс деформирования, можно исследовать предельное поведение жестко-пластической конструкции как последовательность предельных состояний, определяемых мгновенными конфигурациями деформированной системы.

Теоретическое обоснование возможности расширения области применения теории предельного равновесия на геометрически нелинейные задачи дано в работах А.М.Проценко.

При расчете по деформированной схеме изменение формы поверхности оболочки можно учесть изменением ординат  $z$ . Рассмотрим механизм формоизменения, имеющий одну степень свободы, определяемую параметром  $t$ . Например, предположим, что все прогибы  $w$  и углы поворота  $\varphi$  на контуре жестких дисков, на которые разделяется оболочка в процессе образования пластического механизма, пропорциональны этому параметру

$$w = w't; \quad \varphi = w't/r;$$

$$d\varphi = w'dt/r. \quad (1)$$

Здесь:  $w'$  — прогиб какой-либо точки оболочки при  $t = 1$  (если параметру  $t$  придать размерность времени, то  $w'$  — скорость перемещений);  $r$  — расстояние от рассматриваемой точки до опорного контура.

Впервые такой подход был предложен в работе [9], а затем развит в работах автора.

В кинематическом методе выбирается кинематический механизм с  $K$ -пластическими шарнирами, в которых действуют внутренние силы  $N$  и  $M$ , являющиеся векторами результирующих нормальных усилий и моментов (обобщенных напряжений).

Применительно к оболочкам можно записать

$$\mu_k \int_s P_0 v^{**} ds \geq \int_s F(N, M, \dot{\epsilon}^{**}, \dot{\chi}^{**}) ds, \quad (2)$$

где левая часть представляет собой мощность внешних нагрузок, а правая — скорость внутренней диссипации энергии. Здесь:  $s$  — площадь горизонтальной проекции оболочки;  $\mu_k$  — кинематический параметр нагрузки;  $P_0$  — единичная нагрузка;  $v$  — вектор виртуальных скоростей перемещений;  $\dot{\epsilon}^{**}$  и  $\dot{\chi}^{**}$  — векторы скоростей удлинений и изменений кривизны срединной поверхности оболочки (обобщенных скоростей деформаций), определяемых из соответствующих соотношений между деформациями и перемещениями.

Выберем параметр  $\mu_k$  таким образом, чтобы неравенство (2) обращалось в равенство и введем в (2)  $t$  по (1). Разрешая уравнение (2) относительно  $\mu_k$ , получим уже не предельную точку, а предельную кривую

$$u_k(t) = \int_x |M \dot{\chi}^{**}(t) + N \dot{\epsilon}^{**}(t)| ds / \int_s P_0 v^{**} ds, \quad (3)$$

определяющую нагрузки, необходимые для обеспечения процесса деформирования. В работе [9] показано, что с увеличением  $t$  величина внешней нагрузки убывает, что означает неустойчивость равновесия. Следовательно, жестко-пластическая оболочка после достижения пре-

дельной нагрузки  $P_{lim}$ , соответствующей нулевым деформациям ( $t = 0$ ), быстро переходит в иное состояние равновесия (прошелкивает) или разрушается. В оболочке из упруго-пластического материала значение разрушающей нагрузки  $P \leq P_{lim}$ , лежащей на кривой "нагрузка—прогиб", может быть найдена для соответствующего деформированного состояния, после чего можно также ожидать прошелкивания или разрушения.

В качестве примера рассмотрим пластическое деформирование и расчет несущей способности железобетонной оболочки положительной гауссовой кривизны в нелинейной постановке на действие сосредоточенной нагрузки.

Первоначально рассматривается сферическая оболочка с радиусом кривизны  $R$  [10]. В основу расчета положена полученная экспериментально локальная схема разрушения оболочки в виде конуса с вершиной в месте приложения сосредоточенной нагрузки (рис. 1). Зона разрушения окружена кольцевой трещиной, образовавшейся в результате внецентренного сжатия сечений, перпендикулярных радиальным. В кольцевом направлении вблизи края зоны разрушения и на некотором расстоянии от нее в предельном состоянии арматура оболочки достигает предела текучести на растяжение. В процессе деформирования жестко-пластической оболочки, рассматривая его как последовательность предельных состояний, можно выделить две основные стадии (рис. 2). Первая занимает промежуток от начала деформирования (рис. 2, а) до момента, когда центральная часть оболочки коснется плоскости осей взаимного вращения дисков (ПОВ) и характеризуется неравенством  $0 < \omega t \leq C$ . Здесь  $\omega t$  — прогиб центра оболочки;  $C$  — аппликата ПОВ. Из равенства работ внешних и внутренних сил для этой стадии деформирования может быть найдена предельная нагрузка, которую обозначим  $P_1$ .

Наибольший интерес представляет стадия деформирова-

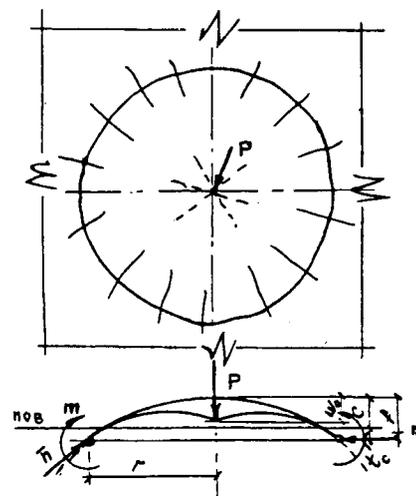


Рис. 1. Схема разрушения и деформирования гладкой железобетонной оболочки при действии сосредоточенной нагрузки

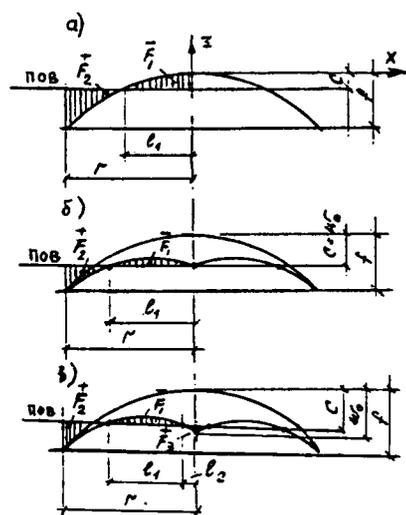


Рис. 2. Перемещение плоскости осей взаимного вращения (ПОВ) при упруго-пластическом деформировании оболочки: а — начальная стадия деформирования; б — центр оболочки касается ПОВ; в — центр оболочки расположен ниже ПОВ

ния, при которой центр оболочки касается ПОВ (рис. 2, б). Прогиб оболочки в этой стадии считается критическим —  $w_{cr}$ , а величина предельной нагрузки обозначается  $P_1$  и принимается в качестве расчетной при определении несущей способности железобетонной сферической оболочки по деформированной схеме. При прогибах центра оболочки  $\omega t > C$  ПОВ дважды (рис. 2, в) пересекает поперечное се-

чение оболочки, и наступает вторая стадия деформирования, для которой выражение предельной нагрузки обозначается  $P_{II}$ .

На основе приведенных в работе [10] выражений для определения несущей способности сферической оболочки построен расчет гладкой железобетонной оболочки положительной гауссовой кривизны с различными главными радиусами кривизны  $R_1$  и  $R_2$ .

Первоначально для меньшего радиуса кривизны (например,  $R_1$ ) ведется расчет несущей способности оболочки  $P'_I$ . Основными неизвестными при вычислении  $P'_I$  являются значения предельных величин изгибающего момента  $m$  и нормального усилия  $N$  на границе зоны разрушения.

При определении  $N$  первоначально принимают, что при внецентренном сжатии сечения в кольцевом пластическом шарнире высота сжатой зоны отвечает граничному значению  $\xi_R$ . Изгибающий момент  $m$  подсчитывают относительно срединной оси сечения. В результате прогиба центра оболочки на величину  $w_{cr} = C$  при шарнирном закреплении контура угол поворота края оболочки составил бы  $\varphi = C/r$ . Упругое защемление края вызывает угол поворота  $\varphi' = \varphi/2$ . В этом случае на контуре вмятины возникнет момент  $M = i\varphi'$  где  $i$  — момент от поворота края оболочки на угол, равный единице.

Найдем упругие характеристики края оболочки по формулам

$$i = \frac{\beta}{2a^3}; \quad a = \frac{1,306}{\sqrt{R_1 \delta}};$$

$$\beta = \frac{0,8 E_{B,I} \delta}{R_1^2} \quad (4)$$

В соответствии с "Руководством по проектированию железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий" принимаем, что

$$E_{B,I} = \frac{3}{4} E_B \frac{\varphi_{B1}}{\varphi_{B2}}$$

где  $\varphi_{B1}$  и  $\varphi_{B2}$  — коэффициенты, учитывающие увеличение деформаций конструкции вследствие кратковременной и длительной ползучести бетона, принимаемые по СНиП 2.03.01-84. Коэффициент 3/4 учитывает неоднородность бетона и возможные несовершенства толщины конструкции.

При правильно выбранном значении высоты сжатой зоны в рассматриваемом внецентренно сжатом сечении с малыми эксцентриситетами значения моментов  $m$  и  $M$  должны совпасть. Их совпадение ищется методом последовательных приближений варьированием значений  $\xi$  при условии  $\xi \geq \xi_R$ . Найденные значения  $m = M$  и  $N$  используют для определения величины  $P'_I$ . Аналогично находят значения  $P'_I$  для оболочки с радиусом кривизны другого направления  $R_2$ . Если окажется, что прогиб оболочки с радиусом  $R_2$  окажется большим, чем оболочки с радиусом  $R_1$ , в качестве прогиба всей системы принимается максимальный из вычисленных прогибов. В этом случае предельному деформированному состоянию оболочки с радиусом  $R_1$  отвечает стадия, приведенная на рис. 2,в, когда центр оболочки расположен ниже ПОВ и она дважды пересекает поперечное сечение. Как было показано выше, этой стадии деформирования отвечает другое значение предельной нагрузки, обозначенное  $P_{II}$  [10].

Такой же расчет, но для оболочки с радиусом кривизны  $R_2$ , следует выполнить в случае, если окажется, что прогиб оболочки с радиусом  $R_1$  окажется большим. Получив величины предельных нагрузок для сферических оболочек с радиусом кривизны  $R_1$  и  $R_2$ , величину предельной нагрузки  $P$  для рассматриваемой оболочки двоякой кривизны найдем в виде их полусуммы.

## Выводы

Экспериментальные исследования и расчет железобетонных оболочек за пределами упругости

(главным образом по методу предельного равновесия) получили большое развитие, в том числе в трудах ученых НИИЖБа и ЦНИИСКА. Однако и в дальнейшем исследовании в этом направлении необходимо продолжить. Особенно важно обратить внимание на развитие машинных методов расчета по предельному равновесию, позволяющих теоретическим путем находить действительную схему разрушения для оболочек сложных форм, а также развивать расчеты несущей способности железобетонных оболочек по деформированной схеме.

## Библиографический список

1. Гвоздев А.А. Определение величины разрушающих нагрузок для статически неопределимых систем // Проект и стандарт. — № 8. — 1934.
2. Ржаницын А.Р. Расчет оболочек методом линейного программирования // Труды VI Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. — М., 1966.
3. Гвоздев А.А. Перспективы применения теории предельного равновесия в расчетах оболочек // Труды VII Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. — М.: Наука, 1970.
4. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. — М.: Госстройиздат, 1949.
5. Гениев Г.А. К вопросу об условии прочности бетона // Исследования по вопросам теории пластичности и прочности строительных конструкций. — М.: Стройиздат, 1968.
6. Карпенко Н.И. О работе железобетонных плит с трещинами, работающих в двух направлениях. Труды VI Всесоюз. конф. по бетону и железобетону. 1-я секция. — М.: Стройиздат, 1966.
7. Карпенко Н.И. К исследованиям условий прочности железобетонных пластин и оболочек с трещинами. Пространственные конструкции зданий и сооружений. — Вып. 2. — М.: Стройиздат, 1985.
8. Хайдуков Г.К., Шугаев В.В. Предельное равновесие геометрически нелинейных железобетонных оболочек // Труды междунар. конгр. ИАСС-85. — М.: ВНИИЭС Госстроя СССР, 1985.
9. Ржаницын А.Р. Предельное равновесие пластинок и оболочек. — М.: Наука, 1983.
10. Шугаев В.В. К расчету несущей способности по деформированной схеме гладких пологих железобетонных оболочек при действии сосредоточенной нагрузки // Пространственные конструкции зданий и сооружений. — Вып. 4. — М.: Стройиздат, 1985.

## Новые методы расчета железобетонных элементов по нормальным сечениям на основе деформационной расчетной модели

Для расчета железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил разработана новая обобщенная деформационная расчетная модель нормальных сечений, позволяющая более полно оценить напряженно-деформированное состояние элементов при любой форме поперечных сечений, любом расположении арматуры в сечении и любой комбинации внешних усилий.

Деформационная модель для расчета элементов по несущей способности и эксплуатационной пригодности включает:

уравнения равновесия внешних и внутренних сил в нормальном сечении;

диаграммы состояния бетона и арматуры;

условие деформирования нормального сечения;

условия деформирования бетона и арматуры между нормальными трещинами;

наличие сцепления арматуры с бетоном.

На основе деформационной модели были разработаны новые методы расчета железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил. При этом нормальное сечение рассматривается состоящим из элементарных участков бетона и арматуры, расположенных по высоте сечения, в пределах которых напряжения принимаются одинаковыми и равными их значениям в центре тяжести этих участков. В качестве выбранной оси в общем случае принимается лю-

бое ее положение в пределах нормального сечения (рис. 1).

Уравнения равновесия моментов и продольных сил в нормальном сечении включают усилия от внешних нагрузок и внутренних усилий, выраженных через напряжения в бетоне и арматуре по высоте сечения

$$M = \sum \sigma_{bj} A_{bj} y_{bj} + \sum \sigma_{si} A_{si} y_{si}; \quad (1)$$

$$N = \sum \sigma_{bj} A_{bj} + \sum \sigma_{si} A_{si}. \quad (2)$$

На основе выбранных расчетных диаграмм состояния материалов [1] определяют напряжения в бетоне и арматуре в зависимости от деформаций

$$\sigma_{bj} = f_1(\epsilon_{bj}); \quad (3)$$

$$\sigma_{si} = f_2(\epsilon_{si}). \quad (4)$$

В качестве условия деформирования нормального сечения принимают линейное распределение продольных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения

$$\epsilon_{bj} = \epsilon_0 + \operatorname{tg} \varphi y_{bj}; \quad (5)$$

$$\epsilon_{si} = \epsilon_0 + \operatorname{tg} \varphi y_{si}. \quad (6)$$

В формулах (1)...(6)

$M$ ,  $N$  - изгибающий момент и продольная сила, действующие в нормальном сечении;

$\sigma_{bj}$ ,  $\sigma_{si}$  - напряжения в центре тяжести элементарных участков

бетона и арматуры, расположенных по высоте сечения;

$A_{bj}$ ,  $A_{si}$  - площади элементарных участков бетона и арматуры;

$y_{bj}$ ,  $y_{si}$  - расстояния от центра тяжести элементарных участков бетона и арматуры до выбранной оси;

$\epsilon_{bj}$ ,  $\epsilon_{si}$  - деформации в центре тяжести элементарных участков бетона и арматуры;

$\epsilon_0$  - продольная деформация на уровне выбранной оси нормального сечения;

$\operatorname{tg} \varphi$  - тангенс угла наклона эпюры деформаций в нормальном сечении.

Расчет прочности железобетонных элементов производят из условия

$$M \leq M_{ult}, \quad (7)$$

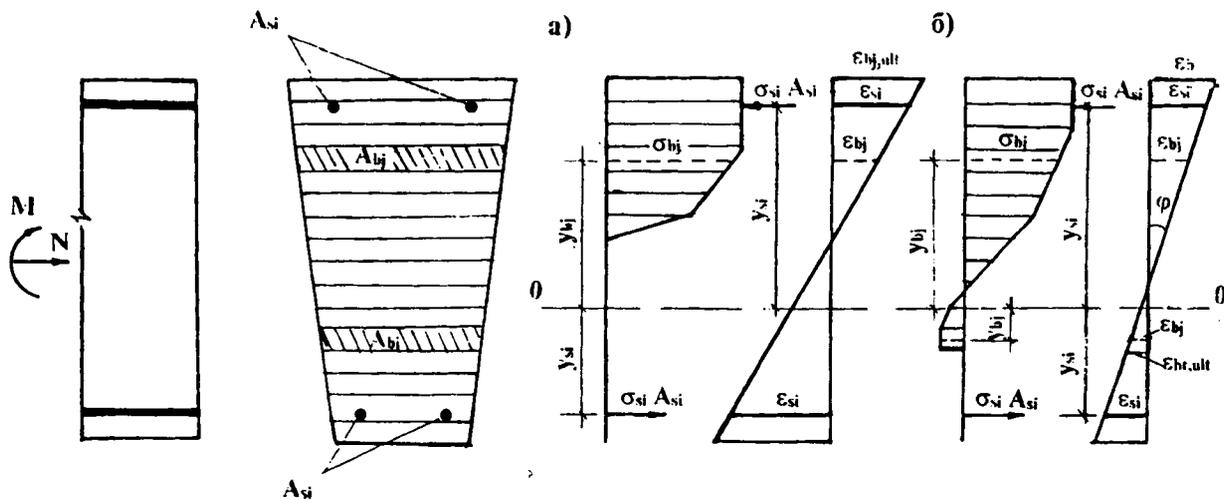
где  $M$  - момент внешних сил относительно выбранной оси, проходящей в сечении;

$M_{ult}$  - предельный момент внутренних усилий относительно той же оси.

Предельный момент, воспринимаемый нормальным сечением с трещиной, определяют из решения системы уравнений (1)...(6) при достижении деформациями сжатого бетона или растянутой арматуры предельных значений (см. рисунок).

Величину предельной деформации сжатого бетона принимают равной:

для изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов при двузначной



Эпюры напряжений и деформаций (при трехлинейной диаграмме состояния бетона) при расчете: а) прочности; б) деформаций и раскрытия трещин

эпюре деформаций и напряжений в сечении (сжатие и растяжение)

$$\epsilon_{bj,ult} = \epsilon_{b2}; \quad (8)$$

для центрально сжатых элементов с однозначной равномерной эпюрой деформаций и напряжений в сечении (равномерное сжатие)

$$\epsilon_{bj,ult} = \epsilon_{b0}; \quad (9)$$

для внецентренно сжатых элементов с однозначной неравномерной эпюрой деформаций и напряжений (неравномерное сжатие)

$$\epsilon_{bj,ult} = \epsilon_{b2} - (\epsilon_{b2} - \epsilon_{b0}) \times \frac{\epsilon_{bj,min}}{\epsilon_{bj,max}} \quad (10)$$

В формулах (8)...(10)

$\epsilon_{b0}$  - значение предельных деформаций бетона при однородном напряженном состоянии;

$\epsilon_{b2}$  - значение наибольших предельных деформаций бетона при неоднородном напряженном состоянии;

$\epsilon_{bj,min}$ ,  $\epsilon_{bj,max}$  - деформации бетона наименее и наиболее сжатых граней элемента.

Величину предельных деформаций растянутой арматуры принимают равной

$$\epsilon_{si,ult} = \epsilon_{s2}, \quad (11)$$

где  $\epsilon_{s2}$  - значение наибольших допускаемых деформаций растянутой арматуры.

Значения деформаций  $\epsilon_{b0}$ ,  $\epsilon_{b2}$ ,  $\epsilon_{s2}$  определяют исходя из принятых расчетных диаграмм бетона и арматуры.

В необходимых случаях значения предельных деформаций бетона и арматуры могут быть приняты меньшими по сравнению с указанными в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции.

Сопротивление растянутого бетона в нормальном сечении при расчете прочности, как правило, не учитывается.

Расчет элемента по образованию нормальных трещин производят с использованием расчетной модели по формулам (1)...(6), принимая за критерий образования трещин достижение крайними деформациями растянутого бетона предельных значений

$\epsilon_{bt,ult}$  Величину предельной деформации растянутого бетона принимают в зависимости от напряженно-деформированного состояния сечения по формулам, аналогичным (8)...(10). При этом деформации сжатого бетона не должны превышать предельных значений.

Расчет железобетонных элементов по деформациям производят из условия

$$f \leq f_{ult}, \quad (12)$$

где  $f$  - прогиб (перемещение) железобетонного элемента от действия внешней нагрузки;

$f_{ult}$  - предельно допустимое значение прогиба (перемещения) элемента.

Прогибы (перемещения) железобетонных элементов определяют по общим правилам строительной механики, используя значения деформаций и кривизн по длине элемента от действия внешних нагрузок.

Кривизны железобетонных элементов (или участков элементов) с нормальными трещинами определяют по формуле

$$\frac{l}{r} = \frac{\epsilon_{bm} + \epsilon_{sm}}{h_0}, \quad (13)$$

где  $\epsilon_{bm}$  - средние деформации крайнего волокна сжатого бетона на участке между нормальными трещинами;

$\epsilon_{sm}$  - средние деформации крайнего растянутого стержня продольной арматуры на участке между нормальными трещинами;

$h_0$  - расстояние между крайним сжатым волокном бетона и крайним растянутым стержнем продольной арматуры.

Значение  $\epsilon_{bm}$  определяют по формуле

$$\epsilon_{bm} = \psi_b \epsilon_b, \quad (14)$$

где  $\epsilon_b$  - деформация крайнего волокна сжатого бетона в сечении с трещиной;

$\psi_b$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций сжатого бетона между трещинами и принимаемый равным 0,9.

Значение  $\epsilon_{sm}$  определяют по формуле

$$\epsilon_{sm} = \psi_s \epsilon_s, \quad (15)$$

где  $\epsilon_s$  - деформация крайнего растянутого стержня в сечении с трещиной;

$\psi_s$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций растянутой арматуры между трещинами.

Значение коэффициента  $\psi_s$  вычисляют по формуле

$$\psi_s = 1 - \frac{\epsilon_{s,cr}}{\epsilon_s} \beta, \quad (16)$$

где  $\epsilon_{s,cr}$  - деформация растянутой арматуры в момент сразу после образования трещин;

$\beta$  - коэффициент, принимаемый равным при кратковременной

нагрузке - 0,6, при длительной нагрузке - 0,25.

Значение  $\epsilon_{s,cr}$  равно

$$\epsilon_{s,cr} = \frac{\omega N_{bt,cr}}{E_s A_s} + \epsilon_{bt2}, \quad (17)$$

где  $N_{bt,cr}$  - усилие в растянутом бетоне перед образованием трещин, значение которого определяют из расчета элемента по образованию трещин;

$\omega$  - коэффициент, принимаемый равным 0,8;

$\epsilon_{bt2}$  - наибольшие деформации удлинения бетона, исходя из диаграммы состояния растянутого бетона.

Деформации крайнего сжатого волокна бетона  $\epsilon_b$  и крайнего растянутого стержня продольной арматуры  $\epsilon_s$  в сечении с трещиной определяют из решения системы уравнений (1)...(6) от действия момента  $M$  и продольной силы  $N$  (рис. 1,6).

Кривизны железобетонных элементов (или участков элементов) без трещин определяют по формуле

$$\frac{l}{r} = \frac{\epsilon_{b1} + \epsilon_{b2}}{h}, \quad (18)$$

где  $\epsilon_{b1}$  - деформации крайнего сжатого волокна бетона;

$\epsilon_{b2}$  - деформации крайнего растянутого (или менее сжатого) волокна бетона;

$h$  - расстояние между крайними волокнами бетона в нормальном сечении.

Деформации  $\epsilon_{b1}$  и  $\epsilon_{b2}$  определяют с использованием деформационной модели железобетонного элемента без трещин.

Расчет по раскрытию нормальных трещин производят из условия

$$a_{cr} \leq a_{cr,ult}, \quad (19)$$

где  $a_{cr}$  - ширина раскрытия нормальных трещин от действия внешних нагрузок;

$a_{cr,ult}$  - предельно допустимая ширина раскрытия нормальных трещин.

Ширину раскрытия трещин определяют по формуле

$$a_{cr} = \epsilon_{sm} l_s, \quad (20)$$

где  $\epsilon_{sm}$  - определяют по формуле (15);

$l_s$  - расстояние между нормальными трещинами.

Расстояние между трещинами определяют из условия, по которому разность усилий в растянутой арматуре в сечении с трещиной и в сечении посередине участка между трещинами уравновешивается силами сцепления арматуры с бетоном. Величину  $l_s$  определяют по формуле

$$l_s = 2 \frac{\Delta N_s}{\pi d_s R_{bond}}, \quad (21)$$

где  $\Delta N_s$  - разность усилий в растянутой арматуре в сечении с трещиной и в сечении посередине участка между трещинами, принимаемая равной  $\omega N_{bt,cr}$ ;

$R_{bond}$  - сопротивление сцепления арматуры с бетоном, вычисляемое по формуле

$$R_{bond} = \eta R_{bt}, \quad (22)$$

где  $\eta$  - коэффициент, принимаемый равным для арматуры периодического профиля - 2,0, для гладкой арматуры - 1,0.

Деформации растянутой арматуры  $\epsilon_s$  определяют из решения системы уравнений (1)...(6) деформационной модели от действия момента  $M$  и продольной силы  $N$  (рис. 1, б).

Для реализации новых методов расчета железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил при участии Московского государственного строительного университета были разработаны алго-

ритмы и программы расчета и посчитаны контрольные примеры, в которых в широком диапазоне варьировали класс бетона, процент армирования сечения, количество сжатой арматуры и диаметр арматурных стержней. Сопоставление результатов расчета контрольных примеров по деформационной расчетной модели с результатами расчета по СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции" показало, что новые методы могут быть

приняты для оценки прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных элементов [1].

### Библиографический список

1. Залесов А.С., Чистяков Е.А., Ларичева И.Ю. Деформационная расчетная модель железобетонных элементов при действии изгибающих моментов и продольных сил // Бетон и железобетон. — № 5 — 1996.

*В.В. ЖУКОВ, д-р техн. наук*

## Огнестойкость железобетонных конструкций и жаростойкие бетоны

Проблема огнестойкости строительных конструкций в современном строительстве, когда возводят здания с помещениями различного назначения, многофункциональные комплексы, применяют новые полимерные материалы, имеет большое теоретическое и практическое значение. Для ее решения необходимо проводить исследования, связанные с процессом развития нестандартного пожара в помещениях, определять его длительность, распределение температур в сечениях железобетонных конструкций, находить рациональные сечения конструкций, их армирование. Часто, особенно для условий Москвы, необходимо иметь очень высокие пределы огнестойкости железобетонных конструкций — 4...5 ч, что не предусмотрено существующими нормативными документами.

Примером могут служить требования по огнестойкости к железобетонным конструкциям намечаемого к строительству Московского международного делового центра.

Для решения этих задач были созданы расчетные модели для оценки средней температуры в помещении с учетом проемности, пожарной нагрузки, конструктивного решения помещений. Разработаны компьютерные программы расчета огнестойкости железобетонных конструкций.

Применение комплексных конструкций, когда в виде несъемной опалубки для железобетонных конструкций, тепло- и звукоизоляции зданий применяют пенополистирол (конструкции системы Пластбау), потребовало изучения не только их пределов огнестойкости, а также

пожарной безопасности и долговечности. Для этой цели были проведены экспериментальные огневые исследования на 3-этажном фрагменте здания, построенном из этих конструкций. Выполнены замеры температур в помещениях здания и в конструкциях, состав газов, выделяющихся при термодеструкции пенополистирола и др.

Испытания статически неопределимых металложелезобетонных конструкций с внешним незащищенным от воздействия огня армированием показали, что предел огнестойкости их может составлять два и более часа. Исследования огнестойкости наружных стен жилых зданий с повышенными требованиями по теплоизоляции позволили сделать вывод об эффективности многослойных конструктивных решений.

Проблема, связанная с оценкой прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций после пожара, потребовала решения целого ряда сложных вопросов, связанных как с тепловым и механическим воздействием на них при пожаре, так и с изменением свойств бетона и арматуры после пожара. Было выявлено, что появление внутренних трещин в перегородках между пустотами в плитах перекрытий может изменить их расчетную схему при дальнейшей эксплуатации и привести к серьезным осложнениям при их ремонте, особенно когда пожар происходит в эксплуатируемых жилых зданиях.

Исследования бетона после пожара при действии статической нагрузки позволили сделать вывод о необходимости осторожной оценки его свойств, особенно в части долговечности, при дальнейшей эксплуатации. Для оценки свойств железобетонных конструкций после пожара создана нормативная база и компьютерная программа.

Решаются проблемы, связанные с огнестойкостью крупных промышленных объектов, например атомных электростанций, транспортных контейнеров для перевозки радиоактивного топлива. Разработаны эффективные огнезащитные составы и изделия для металлических конструкций. Сделан анализ международных нормативных документов по воздействиям при пожаре и оценке огнестойкости железобетонных и металложелезобетонных конструкций (стандарты ИСО, ДИН, Еврокоды). Показана необходимость нормирования воздействий при пожаре в России, приведено

большое количество экспериментальных и теоретических данных по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, что необходимо для разработки нормативных документов.

Проблема жаростойких бетонов решается на основе создания новых видов жаростойких вяжущих, обладающих высокими начальными и сохраняющими их при воздействии температур свойствами (прочность, деформативность, трещиностойкость и термостойкость), так и путем совершенствования ранее разработанных. Основное направление при создании новых видов вяжущих связано с использованием тонкодисперсных материалов, портландцемента в сочетании с силиконатриевым вяжущим.

Изучаются вопросы регулирования сроков начала и конца схватывания вяжущих на основе жидкого стекла с различными отвердителями, предварительного разогрева бетонной смеси на силикат-глыбе, рационального подбора гранулометрии заполнителей для жаростойкого бетона, влияния методов его укладки на термомеханические свойства.

Использование отходов (например, бывших в употреблении огнеупоров) требует исследований влияния на свойства жаростойкого бетона различных оксидов, например железа. Такая работа была выполнена для литейного завода АО КамАЗ. Разработка составов жаростойкого бетона на глиноземистом цементе с керамзитовым заполнителем позволила с наименьшими затратами футеровать пылеуловительную камеру завода Бекерон в Москве.

Основная цель при разработке новых и совершенствовании имеющихся жаростойких бетонов — повышение их термостойкости и температуры применения. Следует напомнить, что жаростойкие бетоны имеют значительные преимущества перед штучными огнеупорами: меньшие энергетические и трудозатраты, большую долговечность и возможность создания тепловых агрегатов любой конструктивной формы. Жаростойкие бетоны совершенствуются также в отношении сокращения расхода вяжущего (бетоны на силикат-глыбе, на глиноземистом цементе с добавкой огнеупорной глины). Обеспечены высокие термомеханические свойства жаростойкого бетона на высокоглиноземистом цементе с реакционноспособным заполнителем. Появилась возможность создания жаростойких бетонов с температурой службы 1300...1800°C с высокими термомеханическими свойствами для конкретных тепловых агрегатов.

Следует отметить крупные работы, выполняемые в НИИЖБ по созданию экспериментальной линии для выпуска изделий на основе вспученного вермикулита. На этой линии уже налажено производство жаростойких блоков плотностью 400...500 кг/м<sup>3</sup> для температуры применения 1150°C. Эти изделия в 1,5...2 раза дешевле шамотно-волоконистых жаростойких плит и более долговечны. Расширение этого производства возможно путем изготовления огнезащитных изделий типа Термакс (продукция австрийской фирмы), отделочных панелей и теплоизоляционных блоков для жилищного строительства.

## Механика разрушения в оценке долговечности бетона

Долговечность бетона снижается в основном вследствие морозной и коррозионной деструкции. Современное состояние знаний о механизмах деструкции и способах ее предотвращения позволяет управлять этими процессами и создавать бетоны высокой долговечности на безремонтные сроки службы более 100 лет. Однако уровень технологии производства бетона и изделий не всегда позволяет обеспечить высокую долговечность, и известны случаи, когда железобетонные конструкции приходится демонтировать уже через 10...30 лет их службы.

Проблема морозостойкости бетона активно решалась в 50—80 годы в исследованиях С.В.Шестоперова, Т.К.Пауэрса, Г.И.Горчакова, Ф.М.Иванова, В.Г.Батракова, О.В.Кунцевича и многих других ученых. Механизм морозного разрушения бетона рассматривался как следствие образования льда, объем которого на 9% больше объема замерзшей воды. Эффективным средством обеспечения морозостойкости признано направленное структурообразование при низком водцементном отношении, заданном количестве микрокремнезема и объеме условно замкнутых пустот в структуре бетона, образуемых воздухововлекающими и газообразующими добавками. Однако метод оценки морозостойкости бетона по ГОСТ 10062-95 энергозатратен и не всегда объективен.

Проблема коррозионной стойкости бетона особенно обострилась в 70—80 годы в период массового производства сборного железобетона и применения его в зданиях и сооружениях промышленного назначения. В России решение этой проблемы возглавил В.М.Москвин. В 1967—1970 гг. он создал научный коллектив, в котором сотрудничали ведущие специалисты СССР и стран-членов СЭВ.

В широко поставленных исследованиях были развиты представления о процессах коррозии бетона, найдены новые способы обеспечения его стойкости в газовых, жидких, грунто-

вых и твердых средах. Разработаны составы и технологии получения солестойких, кислотостойких бетонов на цементном и полимерном вяжущих, с использованием водных растворов щелочных силикатов; предложены эффективные виды вторичной защиты.

Результаты научных исследований были объединены в государственные и международные нормативные документы (СНиП 2.03.11-85, СНиП 3.04.03-85, стандарты СЭВ и ИСО), на основе которых разработана проектная документация для производства конструкций для зданий с агрессивными средами. В промышленности сборного железобетона был организован выпуск железобетонных конструкций для условий со средне- и сильноагрессивными средами. Возведены цеха и многоэтажные здания, эксплуатирующиеся до настоящего времени без существенных повреждений.

В 1969 г. в стране была создана специальная государственная антикоррозионная служба, в ЦСУ введена отчетность по учету объема потерь от коррозии. В строительных вузах организовано преподавание, а в ВАК СССР — подготовка специалистов по дисциплине “Долговечность строительных материалов и конструкций” (05.23.17).

Созданный учеными школы В.М.Москвина подход к решению проблемы коррозионной стойкости бетона и железобетона обеспечил наложение научной и нормативно-технической базы строительства, а также существенное повышение квалификационного уровня специалистов. Однако несмотря на заметный прогресс в науке и практике долговечность бетона и железобетона продолжает оставаться невысокой, и демонтаж конструкций, зданий и сооружений вынуж-

В 1984 г. за разработку теории коррозии бетона и железобетона и создание на ее основе долговечных конструкций для массового строительства В.М.Москвин, Ф.М.Иванов, С.Н.Алексеев, Е.А.Гузев, А.М.Подвальный, Г.И.Горчаков, В.Б.Ратинов, В.И.Бабушкин, А.Ф.Полак удостоены званий лауреатов Госпремии СССР.

денно производится через 25...35 лет (дома из прокатных панелей, арки метропостов, балки эстакад на Садовом кольце в Москве и т.д.). По-видимому, общей причиной повреждаемости бетона остаются не только суровые условия эксплуатации, но и недостаточный уровень контроля его качества, осуществляемого по динамике изменения его прочности.

В аналогичной ситуации находились проблемы материаловедения в отрасли конструктивной керамики, пластмасс, спецстекло, коррозионно- и термостойких металлов и композитов. Решения были найдены после перехода в оценке свойств при создании высококачественных материалов для массовых изделий на методы механики разрушения. Важным этапом стала реализация методов линейной механики, а затем и нелинейной. В основе этих методов положены представления о механизме разрушения, как непрерывном процессе развития существующих в структуре материалов дефектов на различных ее уровнях — от молекулярных несовершенств в ионных и кристаллических решетках до микро- и макротрещин внутризеренного и межзеренного характера. В механике разрушения развиты положения о непрерывном процессе концентрации упругой энергии в вершине структурного дефекта (трещине) и о состоянии предельного равновесия тела с трещинами на этапе, когда трещины получают возможность распространяться. В концепции закона сохранения энергии долговечность композита (бетона) рассматривается, как заданный при подборе компонентов, состава и формировании структуры ресурс упругой энергии  $G_i$ , а продолжительность ее исчерпания — долговечность, как работу разрушения  $\Delta A(t)$ , необходимую для образования (развития) новых поверхностей — трещин ( $\delta S$ ) в структуре от силовых и несиловых воздействий.

Механика разрушения бетона (в основном линейная) получила признание в 1990-е годы после завершения широкомасштабных экспериментов, проведенных РИЛЕМ, и выпуска

им рекомендаций, выхода европейских кодов ФИП-ЕКБ и введения в России ГОСТ 29167—91. С 1985 г. действует ГОСТ 25.506.85, регламентирующий методы получения энергетических и силовых констант металлов (в том числе арматурных сталей) методами механики разрушения. Таким образом, создана научно-нормативная база для оценки свойств бетона и арматуры методами механики разрушения и разработки методов расчета железобетона и прогнозирования его долговечности на основе энергетического ресурса материалов в сечениях конструкций.

В рамках научного совета АН СССР по строительной механике (В.В.Болотин), секции механики железобетона (К.В.Михайлов) координировались теоретические и экспериментальные исследования трещиностойкости, вязкости разрушения бетона и железобетона методами механики разрушения. В работах Е.А.Гузеева, Ю.В.Зайцева, В.В.Жукова, Л.А.Сейлонова, К.А.Пирадова, Л.П.Трапезникова, В.И.Шевченко, М.М.Холмянского, В.Я.Чернявского, В.И.Ягуста и других авторов изложены результаты исследований, положенные в основу ГОСТ 29167—91 и методов расчета железобетонных конструкций методами линейной механики разрушения. В многочисленных опытах на призмах, цилиндрах, кубах и балках при различных схемах нагрузки определено, что трещины в структуре бетона получают возможность распространяться, когда интенсивность освобождающейся энергии  $G_i$  достигает критической величины  $G_c(t)$  (энергетический критерий) или когда структурный параметр  $K_i$ , названный коэффициентом интенсивности напряжений в вершине трещины (КИН), достигает критической величины  $K_{ic}$  (силовой критерий). Величины  $G_{ic}$  и  $K_{ic}$  являются константами, характеризующими трещиностойкость бетона, сопротивление его структурных элементов накоплению и развитию структурных дефектов-трещин.

Установлено, что удельные энергетические затраты на разрушение бетона  $G_i$  отображают структурные особенности матрицы и количество, гранулометрию, физико-механические свойства и качество заполнителей. Например, в пределах одного класса прочности

В30 для бетонов различных составов  $G_i$  находится в диапазоне 35...130 Н/м. Трещиностойкость, а следовательно, и долговечность этих бетонов при силовых и температурно-влажностных и коррозионных воздействиях существенно различны. В пределах одного класса прочности объединены несколько классов бетона по трещиностойкости, по долговечности.

Трещиностойкость бетона после длительных силовых, тепловых и коррозионных воздействий определяется на образцах, извлеченных из массивов или конструкций, — кервах, призмах, кубах и определяется по константам  $K_{Ic}(t)$  и  $G_{Ic}(t)$  по ГОСТ 29167—91 или в лабораторных условиях после соответствующих ускоренных испытаний.

Срок безремонтной эксплуатации бетона рассматривается в пределах категорий времени А, В, С (А — 30...35 лет; В — 60...65 лет; С — 70...75 лет) и оценивается величинами КИН по исходной ( $K_{i,y}$ ) и остаточной [ $K_{i,y}(t)$ ] трещиностойкости структуры по их критическим значениям. По экспериментальным (или заданным) параметрам структуры бетона для внешних силовых и несилевых воздействий возможно рассчитать уровень  $K_I(t)$  и  $K_{II}(t)$  для каждой временной категории.

В основу метода расчета положены следующие допущения. Все виды пустот в бетоне являются трещинами и при любой другой форме в их стенках имеется минимум две трещины: нормального отрыва (I) и среза (II). По форме и размерам (от 10 Å до 10 мм,  $l_{crc}$  — длина,  $a_{crc}$  — раскрытие) пустоты объединены в 5 групп. Результаты силовых и несилевых воздействий в структуре бетона независимы, а их последствия в изменении параметров трещин суммируются. В условиях эксплуатации пустоты бетона (трещины) заполнены (газом, паром, водой, льдом, новообразованиями) и либо сжаты, либо растянуты силами, приложенными к берегам\*\*.

Для трещин каждой группы при каждом виде внешних воздействий методами механики разрушения вычисляются значения КИН  $K_I$  и  $K_{II}$ . Интегральные значения КИН в бетоне, например от действия кратковре-

\*\*Метод расчета разработан совместно с д.т.н. К.А.Пирадовым.

менной статической силы ( $N$ ) и стационарной температурно-влажностной (климатической) ( $TW$ ) нагрузок, определяется как

$$K_I^j = K_I^N + (K_{IW}^{TW} + K_{IS}^{TW}) / \psi,$$

где  $K_I^N$  — КИН от силовых воздействий;  $K_{IW}^{TW}$  и  $K_{IS}^{TW}$  — КИН от ТВВ ( $W$  — зима,  $S$  — лето),  $\psi = 2$ ;

$$K_{II}^j = \sum_{i=3}^5 K_{II}^{iN}.$$

Долговечность бетона при длительных силовых и температурно-влажностных воздействиях в пределах заданного срока характеризуется значениями  $K_I^j(t)$ , для определения которых приняты выражения:

$$K_I^j(t) = K_I^j \lg t /$$

$$\lg 28 \sqrt{1 + 2E_B C(t, 28)} \leq K_{Ic}^j(t),$$

$$K_{II}^j(t) = K_{II}^j \lg t /$$

$$\lg 28 \sqrt{1 + 2E_B C(t, 28)} \leq K_{IIc}^j(t).$$

Критические значения  $K_{Ic}(t)$  и  $K_{IIc}(t)$  определены экспериментально.

Разработанная методика расчета (прогноза) долговечности бетона апробирована в лабораторных условиях и на отдельных реальных сооружениях. Так, бетон балок моста через р.Язу изготовлен в 1940 г. (ресурс по расчету 50 лет) и через 56 лет произошла его практически полная деструкция. Балки были восстановлены в 1996 г. бетоном с расчетным ресурсом 26...30 лет. Для облицовки колонн БСА в Лужниках в 1996 г. применен бетон с расчетным ресурсом на безремонтный срок 45...50 лет.

Исследования по совершенствованию подхода к оценке долговечности бетона продолжаются в направлении разработки методов нелинейной механики разрушения, накопления экспериментальных данных по КИН и  $G_i$  и нормирования эталонных макроструктур бетонов с известной долговечностью.

## Комплексный модификатор бетона марки МБ-01

Современные инженерные сооружения и, в частности, железобетонные конструкции в нашем представлении ассоциируются с термином "High Performance Concretes" (НРС), под которым подразумеваются бетоны нового поколения, отличающиеся высокими эксплуатационными свойствами. Сформировавшаяся сегодня концепция НРС, как известно, основана прежде всего на комплексном использовании суперпластификаторов (СП) и микрокремнезема (МК). Концепция может быть успешно реализована при условии, что НРС сохраняют все достоинства, сделавшие бетон основным конструкционным материалом строительства, т.е. технология производства бетонных смесей и процесс бетонирования конструкций должны быть доступными и нетрудоемкими. В связи с этим актуальна проблема транспортировки и применения МК, который, являясь ультрадисперсным пылящим материалом, вызывает определенные трудности в технологии производства бетонных смесей.

Как известно, в настоящее время МК может поставляться и применяться в трех отпускных формах: в неуплотненном состоянии с насыпной плотностью 150...200 кг/м<sup>3</sup>, в сухом уплотненном состоянии с насыпной массой около 500 кг/м<sup>3</sup> и в виде пасты — водной суспензии концентрации 50...60% [1—4]. Наиболее предпочтительным, как показывает практика, является сухой уплотненный материал.

Бесспорным шагом вперед в развитии отпускных форм МК и соответственно в упрощении технологии производства бетонов нового поколения нам представляется композиционный материал, состоящий из МК и другого обязательного компонента бетона — СП.

Разработана оригинальная технология производства такого

композиционного материала, который состоит из МК, СП и регулятора твердения. По существу он является комплексным модификатором полифункционального действия, который производится в промышленных масштабах под названием "Модификатор бетона марки МБ-01". Он поставляется в виде порошка насыпной плотностью 750—800 кг/м<sup>3</sup>, состоящего из гранул размером до 100 мкм [5]. Каждая гранула представляет собой агрегат из ультрадисперсных частиц МК, покрытых затвердевшей адсорбционной пленкой из СП и регулятора твердения. Этот материал можно транспортировать в железнодорожных вагонах насыпью, он удобен в применении, так как не требует затрат на создание специальных технологических линий по подаче МК и СП в бетоносмесители. Благодаря этим свойствам комплексный модификатор представляет эффективным средством успешной реализации концепции бетонов с высокими эксплуатационными свойствами.

Ниже приводится информация о свойствах модификатора МБ-01 и результатах исследований свойств бетонных смесей и бетонов с его использованием.

Исследования проводились с целью оценить эффективность комплексного модификатора МБ-01, как активного микронаполнителя, в сравнении с сочетанием основных компонентов модификатора — МК и СП, вводимыми в цементную систему по традиционной схеме, т.е. раздельно. Для этого проведен комплекс лабораторных и производственных экспериментов с применением как стандартных, так и специальных методов испытания.

Действие МБ-01 на цементные системы состоит в том, что при затворении водой и перемешивании компонентов бетонной смеси происходит дезагрегация гранул модификатора. Дезагрегации при перемешивании способствует также растворение затвердевшей адсорбционной пленки (прослойки) из СП (рис. 1), разделяющей частицы МК. Это

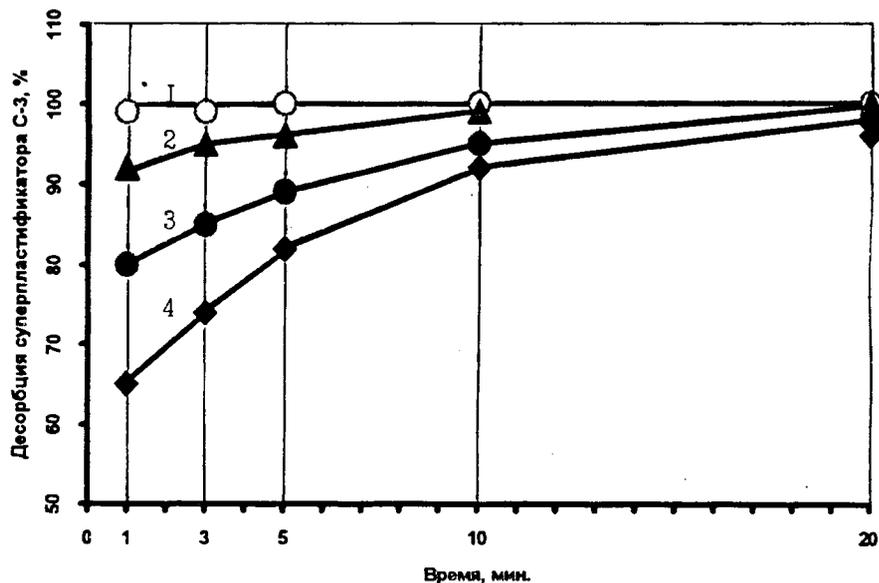


Рис. 1. Кинетика десорбции суперпластификатора С-3 из гранул модификатора МБ-01 при В/МБ-01, равном:  
1 — 1; 2 — 0.8; 3 — 0.65; 4 — 0.5

соответствует классическому представлению о том, что при наличии поверхностно-активного вещества в жидкой фазе дисперсной системы интенсифицирует как принудительное, так и самопроизвольное диспергирование "твёрдого тела с дефектами структуры" [6], каковым является в данном случае гранула.

По мере растворения и дезагрегации в жидкую фазу "порционно" поступают молекулы СП, которые пластифицируют систему. Такое поступление СП и замедлителя твердения в жидкую фазу является условием обеспечения повышенной пластичности и стабильной консистенции бетонной смеси во времени (рис. 2), что особенно важно при длительной транспортировке смесей и возведении монолитных конструкций. Возможно, именно порционное поступление СП в жидкую фазу и растянутая во времени дезагрегация гранул МБ-01 является причиной другого эффекта — пониженной водопотребности бетонных смесей.

В целом основные свойства бетона — прочность на сжатие и проницаемость — практически не отличаются от бетона с МК и СП, приготовленного по обычному способу (рис. 3, 4). Это даёт основание утвердиться во мнении, что формирование структуры цементного камня и бетона происходит в соответствии с известными закономерностями [7], характерными для системы с МК и СП. Следовательно, с применением МБ-01 и расходе обычного портландцемента М400 в пределах  $500 \text{ кг/м}^3$  можно получить бетоны сверхвысокой прочности (выше класса В60), низкой проницаемости (выше марки W18), повышенной стойкости к воздействию сульфатов, хлоридов и слабых кислот, т.е. бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. Однако отметим, что в модификаторе МБ-01, который позволяет получать более пластичные смеси и повышенную прочность бетона,

\* Это определение мы применяем для бетонов, кубиковая прочность которых превышает 80 МПа, т.е. верхний предел, предусмотренный СНиП 2.03.01-84.

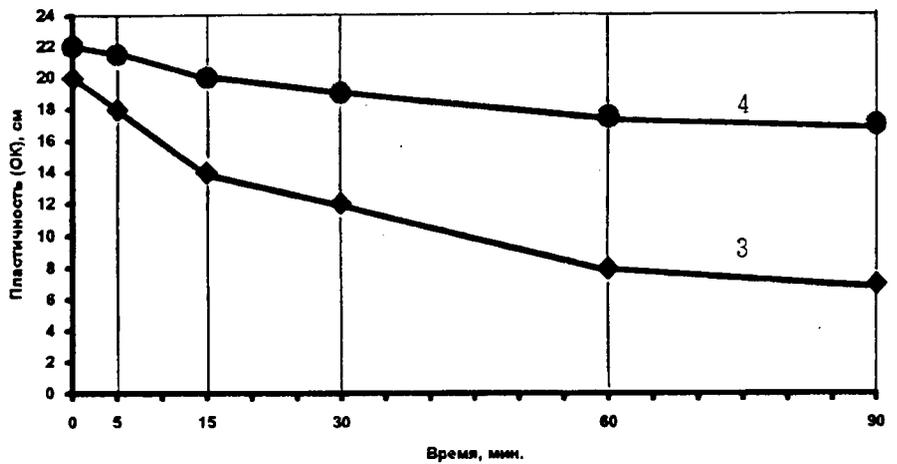


Рис. 2. Изменение пластичности бетонных смесей во времени  
3 — смесь № 3 по таблице, с отдельным введением МК и СП С-3; 4 — смесь № 4 по таблице, с модификатором МБ-01

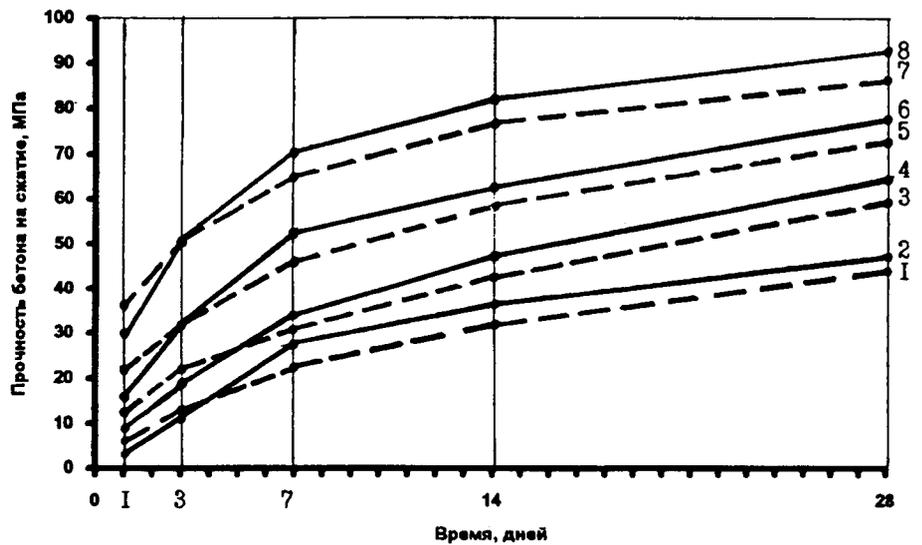


Рис. 3. Кинетика твердения бетонов  
1, 3, 5, 7 — составы бетона № 1, 3, 5, 7 по таблице, с отдельным введением МК и СП С-3;  
2, 4, 6, 8 — составы № 2, 4, 6, 8 по таблице, с модификатором МБ-01

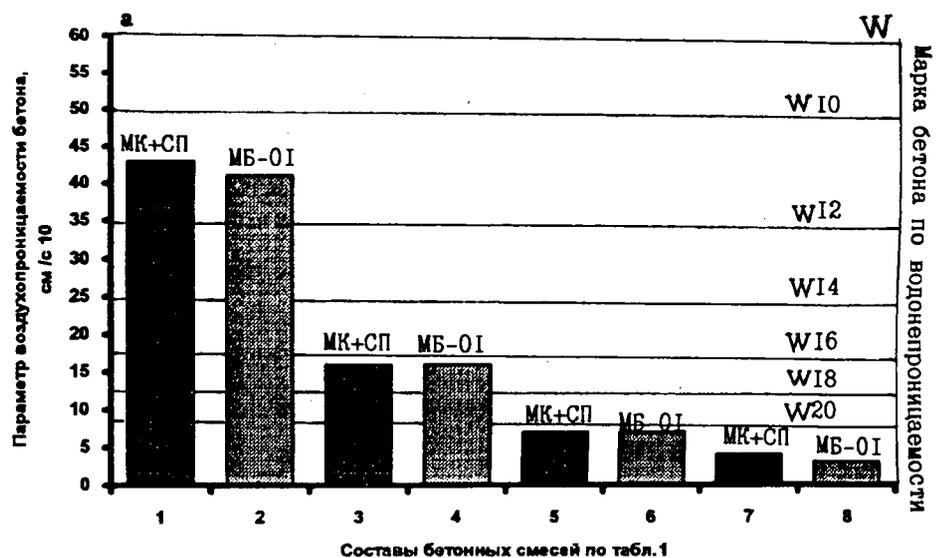


Рис. 4. Проницаемость бетона для воздуха (а) и воды (W)

№ п.п.	Состав бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>								Осадка конуса, см	Прочность бетона на сжатие, сут нормального хранения, МПа					
	Цемент	Микрокремнезем	Суперпластификатор С-3	Модификатор МБ-01		Песок	Щебень	Вода		1	3	7	14	28	
				общее количество	основные компоненты										
					МК										СП С-3
1	300	32	6,6	—	—	735	1115	175	19	6,6	12,7	22	31,2	42,3	
2	300	—	—	35	31,1	3,5	745	1120	173	20	3,2	12,5	26,4	35,3	45,4
3	310	45	6,9	—	—	—	730	1125	165	20	10,7	20	30,7	42,8	59,6
4	310	—	—	50	44,42	5	745	1130	161	22	7	19,5	33,2	46,7	63
5	450	45	6,6	—	—	—	660	1060	171	20	20,5	31,4	47,4	58,2	70
6	450	—	—	50	44,42	5	670	1060	170	22	14,2	31	50,6	60,2	76,1
7	500	60	11,2	—	—	—	580	1080	167	20	35,1	50,6	66,2	76,8	85,1
8	500	—	—	70	62,18	7	585	1080	165	20	30	50,2	68,8	80	92,2

содержание основных ингредиентов (микрокремнезема и особенно суперпластификатора), как правило, меньше, чем в контрольном бетоне, приготовленном с раздельным введением тех же ингредиентов (см. таблицу). Таким образом, два материала, соединенные в комплексный продукт в новой форме, обретают и новое качество — становятся более эффективными. Причину этого явления еще предстоит исследовать.

Заслуживают внимания эксперимент, проведенный в производственных условиях, и анализ технологии производства бетонных смесей.

Из данных рис. 5 можно качественно оценить (в условных

единицах) изменение вязкости бетонных смесей при одновременной загрузке всех ее компонентов в бетоносмеситель. В начальный период вязкость смесей с МБ-01 относительно высокая, затем снижается, стабилизируясь на определенном уровне. Это — одна из особенностей технологии производства смесей с МБ-01, которая связана с тем, что пластификация смеси происходит не сразу, а постепенно, по мере растворения и порционного поступления в жидкую фазу СП, находящегося в составе МБ-01. Другая особенность заключается в том, что МБ-01, обладая сравнительно высокой насыпной массой, может транспортироваться, храниться, дозироваться и пода-

ваться в бетоносмеситель по той же схеме, что и цемент, не требуя специального оборудования. При этом исключается необходимость отдельно вводить в смеси суперпластификатор. Это — важное обстоятельство, позволяющее любому предприятию без особой подготовки организовать производство бетонов с высокими эксплуатационными свойствами.

Вышеуказанное делает модификатор МБ-01 более предпочтительным материалом для строительной промышленности по сравнению с известными зарубежными аналогами, например с уплотненным микрокремнеземом, производимым по технологии фирмы "Elkem". Последний, имея насыпную массу около 500 кг/м<sup>3</sup>, транспортируется обычно в мелкообъемной таре и требует специальной технологической линии для приема, хранения, дозирования и подачи [4].

На рис. 6 представлена схема типового завода, который благодаря МБ-01 производит смеси для возведения конструкций из бетонов с высокими эксплуатационными свойствами для оригинальных инженерных сооружений в Москве. Можно заметить, что в схеме отсутствует специальная линия по приему, хранению и подаче СП, а комплексный модификатор МБ-01 принимается и хранится в цементных силосах и подается в смеситель через дозатор цемента. За пять месяцев 1996 г. изготовлено 460 т модификатора, с примене-

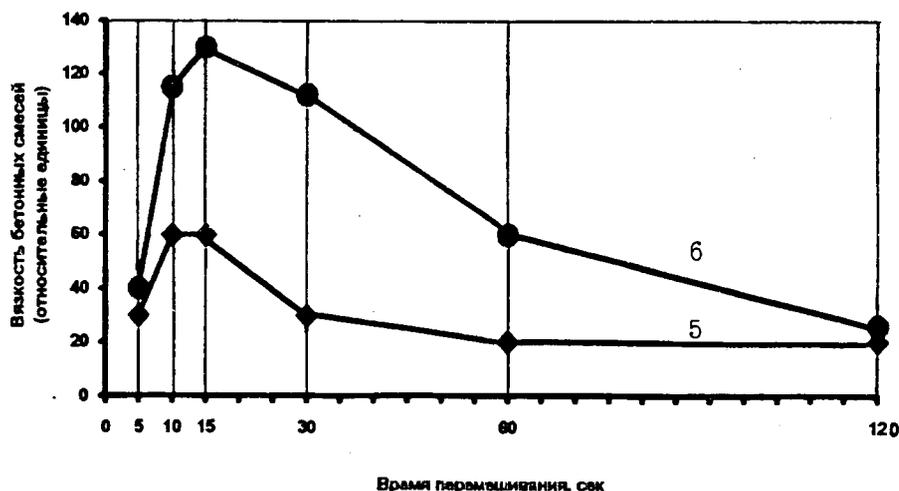


Рис. 5. Изменение вязкости бетонных смесей в процессе их перемешивания  
5 — смесь № 5 по таблице, с раздельным введением МК и СП С-3 в виде раствора; 6 — смесь № 6 по таблице, с модификатором МБ-01

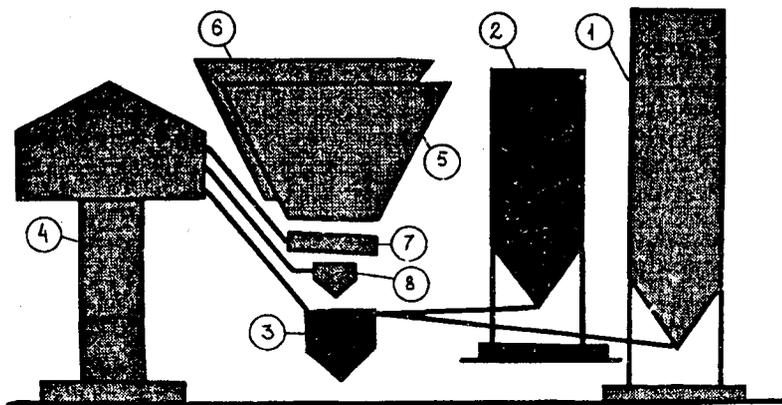


Рис. 6. Схема бетонного завода, выпускающего смеси с модификатором МБ-01

1 — склад цемента; 2 — склад модификатора бетона МБ-01; 3 — дозатор цемента; 4 — бетоносмеситель; 5, 6 — бункеры для хранения заполнителей; 7 — дозатор заполнителей; 8 — дозатор воды

нием которого выпущено около 8 тыс.м<sup>3</sup> бетонных смесей для возведения конструкций транс-

портных сооружений и торгово-рекреационного комплекса на Манежной площади.

Т.А. УХОВА, канд. техн. наук, Г.К. НАГАШИБАЕВ, инж.

## Неавтоклавный поробетон для однослойных ограждающих конструкций

Основным направлением повышения энергоэффективности зданий являются разработка и применение легких материалов, обеспечивающих требуемый уровень теплозащиты, паро- и воздухопроницаемости ограждающих конструкций.

Как показывает практика, однослойные ограждения имеют в 1,7...1,35 раза большую плотностехническую однородность, чем многослойные, что обусловлено структурной неоднородностью последних, наличием мостиков холода и конденсацией водяных паров. Влияние неоднородности материалов, характеризуемое коэффициентом  $r = 0,95$ , учитывают при расчете термического сопротивления ограждений. Увеличение толщины однослойных ограждений вследствие неоднородности материалов происходит

в 1,053 раза, а многослойных — в 1,33 раза.

Как показал отечественный и зарубежный опыт, наиболее перспективным материалом для однослойных ограждающих конструкций является ячеистый бетон. Расчеты свидетельствуют, что достаточная толщина стен жилых и общественных зданий, например, для условий Москвы и области, составляет (при средней плотности ячеистого бетона 700 кг/м<sup>3</sup>) 0,39 и 0,66 м соответственно на первом и втором этапах снижения энергопотребления с учетом коэффициента теплотехнической неоднородности  $r = 0,95$ . При средней плотности ячеистого бетона 500 кг/м<sup>3</sup> — соответственно 0,3 и 0,51 м. Результаты обследования жилых зданий со стенами из ячеистых бетонов показали, что

## Библиографический список

- Holland T.C. Working with Silica Fume in Ready-Mixed Concrete — USA Experience. CANMET/ACI Third International Conference. Trondheim, Norway, 1989, Proceedings, V. 2, pp. 763—781.
- Radjy F.F., Bogen T., Sellevold E.J., Loeland K.E. A Review of Experiences with Condensed Silica-Fume Concretes and Products. CANMET/ACI Second International Conference. Madrid, Spain, 1986, Proceedings, V. 2, pp. 1135—1152.
- Method of Producing Stabilized aqueous dispersions of Silica Fume. US Patent № 4321243 C04B, 33/141.
- Method of Compacting Silica Dust. US Patent № 4126424, B01J 2/16.
- ТУ 5743-02595332-96 "Модификатор бетона марки МБ-01. Технические условия" (НИИЖБ, 1996 г.).
- Ребиндер П.А. Современные проблемы коллоидной химии. В кн.: Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. — М.: Наука, 1978. — С. 36—49.
- Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. — 1995. — № 4. — С. 16—20.

сорбционная влажность материала в 2...2,5 раза меньше, чем принятая в СНиПе. С учетом этого обстоятельства толщину стены из ячеистого бетона плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> на втором этапе можно принять равной 0,4 м.

Для реализации высокой технико-экономической эффективности однослойных ограждений из ячеистого бетона в НИИЖБе разработана новая его разновидность — неавтоклавный поробетон. Его получают в результате затвердевания в естественных условиях, при электропрогреве или при пропаривании в среде насыщенного пара при атмосферном давлении поризованной смеси, состоящей из вяжущего, кремнеземистого компонента, воды и химических добавок. Сущность технологии не-

автоклавного изготовления поробетона состоит в одностадийном интенсивном перемешивании сырьевых компонентов без предварительного приготовления пены.

При разработке технологии были поставлены две основные задачи:

получение конструкционно-теплоизоляционного материала со средней плотностью не более  $500 \text{ кг/м}^3$ , прочностью при сжатии не менее  $3 \text{ МПа}$  и с коэффициентом теплопроводности не более  $0,14 \text{ Вт/(м}^0 \cdot \text{С)}$ , а также теплоизоляционного поробетона со средней плотностью не более  $300 \text{ кг/м}^3$ , прочностью не менее  $0,5 \text{ МПа}$  и коэффициентом теплопроводности не более  $0,1 \text{ Вт/(м}^0 \cdot \text{С)}$ ;

технологические параметры изготовления неавтоклавного поробетона должны быть энергосберегающими.

При разработке технологии в качестве параметров оптимизации были приняты характеристики макропористой структуры и межпоровых перегородок. Последние должны характеризоваться:

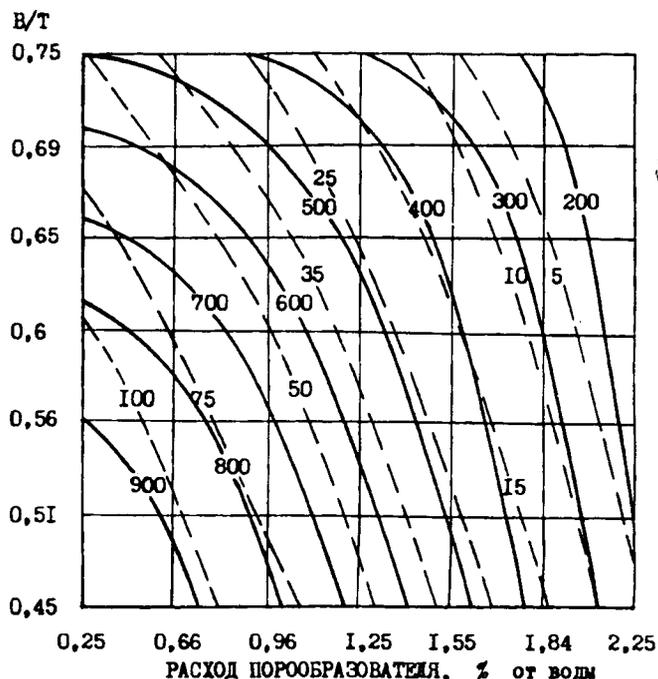
максимальной прочностью и плотностью, что может быть достигнуто оптимизацией минералогического и гранулометрического составов сырьевых смесей, снижением количества воды затворения;

минимальной капиллярной пористостью путем применения технологических способов, обеспечивающих снижение водосодержания бетонных смесей;

равномерностью распределения компонентов в межпоровой перегородке за счет оптимизации режимов подготовки, в том числе

Зависимость прочности и плотности неавтоклавного поробетона от В/Т и расхода порообразователя

--- -- средняя прочность бетона;  
— — — — плотность бетона



гомогенизации сырьевых компонентов, и приготовления смесей; снижения количества дефектов, возникающих в процессе структурообразования и твердения, за счет оптимизации режимов выдерживания и твердения.

Макропористая структура должна характеризоваться:

сферическими порами разного диаметра, упакованными в плотнейшей гексагональной и кубической сингониях, которые могут быть получены за счет комплексного использования газо- и пенообразователей;

соотношением между макропорами и микропорами более 7, что может быть достигнуто технологическими способами, обеспечивающими снижение В/Т;

однородным распределением пор в объеме бетона, что может

быть обеспечено оптимизацией технологических параметров приготовления смесей.

С целью получения оптимальных технологических параметров изготовления неавтоклавного ячеистого бетона с повышенными показателями физико-технических свойств была выполнена экспериментальная работа. Исследовано влияние вида вяжущего (цемента), кремнеземистого компонента (кварцевого песка, золы), соотношения между ними, расхода и температуры воды затворения, вида порообразователя, способа формирования пористой структуры, вида и расхода химических добавок — интенсификаторов структурообразования и твердения, режимов приготовления поризованных смесей и твердения бетонов.

В качестве параметров оптимизации были приняты средняя плотность, прочность, морозостойкость, кинетика нарастания пластической прочности, теплопроводность. Эксперименты проводились с применением методов математического планирования экспериментов. Были реализованы ротатабельные планы второго порядка для двух- и трехпеременных факторов. В результате статистической обработки экспериментальных данных на ЭВМ

Показатели физико-технических свойств неавтоклавного поробетона	Плотность бетона, $\text{кг/м}^3$				
	200	300	400	500	600
Прочность при сжатии в 28-суточном возрасте, $\text{кгс/см}^2$	3,5	7,5	16	24,2	37,1
Теплопроводность в сухом состоянии, $\text{Вт/(м}^0 \cdot \text{С)}$	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16
Сорбционная влажность, масс. %	9,8	8,3	6,4	5,8	5,3
Капиллярный подсос, масс. %	19,6	21,3	19,8	22,1	25,6
Морозостойкость, циклы	—	—	—	25	Св. 35
Усадка при высыхании	—	—	—	1,7	1,8

получены количественные зависимости физико-технических свойств поробетона от исследуемых технологических факторов.

На рисунке представлены зависимости прочности и средней плотности порозолобетона от В/Т и расхода порообразователя. На основании анализа этих зависимостей определены технологические параметры, обеспечивающие возможность получения поробетона заданной плотности ( $500 \text{ кг/м}^3$ ) с прочностью 3 МПа, а также плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$  с прочностью 0,5 МПа. Пористая структура этих бетонов характеризуется мелкими ( $d = 0,1...0,2 \text{ мм}$ ), равномерно распределенными порами сферической формы.

В результате оптимизации макропористой структуры и межпоровых перегородок, а также технологических параметров изготовления были получены неавтоклавные поробетоны, показатели физико-технических свойств которых приведены в таблице. Из нее видно, что неавтоклавный поробетон, изготов-

ленный по энергосберегающей технологии, разработанной в НИИЖБе, по большинству показателей удовлетворяет требованиям, предъявляемым к автоклавным ячеистым бетонам.

Отличительными особенностями технологии являются оптимизация гранулометрического состава компонентов сырьевой смеси; механохимическая активизация компонентов ячеистобетонной смеси; одновременное применение пено- и газообразующих добавок; комплексное использование пластифицирующих добавок и добавок, ускоряющих процесс структурообразования и начального твердения.

Из поробетона D500...D600 рекомендуется изготавливать мелкие стеновые блоки и армированные элементы, а из поробетона D300...D400 — плитную теплоизоляцию. Поробетон D200...D300 можно применять для теплоизоляции чердачных перекрытий, полов первого этажа.

Отработка технологических параметров в производственных условиях показала, что изделия

из неавтоклавного поробетона можно изготавливать как в индивидуальных формах, так и по резательной технологии. Это возможно благодаря применению высокоэффективных ускорителей твердения, позволяющих уже через 1,5...2 ч после формования частично распалубить и разрезать массивы на изделия необходимых размеров.

Таким образом, разработана новая разновидность ячеистого бетона — неавтоклавный поробетон, обладающий высокими теплозащитными свойствами, небольшой сорбционной влажностью, низким капиллярным подсосом и водопоглощением. Материал не горюч, экологически чист, изготавливается по энергосберегающей технологии, в которой отсутствуют процессы помола сырьевых компонентов, вибрационные процессы, а автоклавная обработка заменена менее энергоемкими процессами твердения. Изделия могут быть изготовлены на оборудовании, выпускаемом отечественными предприятиями.

*А.Ф. МИЛОВАНОВ, д-р техн. наук, проф.*

## Влияние температуры на свойства арматуры

Железобетонные конструкции находят применение при различных климатических и технологических температурах. При нагревании железобетонной конструкции температура арматуры повышается и при замораживании — понижается. При этом температура арматуры примерно равна температуре окружающего ее бетона.

В условиях воздействия низких и высоких температур работа арматуры оценивается напряжением, пластическими деформациями и стабильностью структуры. Пластичность арматуры является показателем способности ее к деформированию при действии нагрузки и температуры. Большинство сталей, применяемых в качестве арматуры для

железобетонных конструкций, обладают достаточной пластичностью.

При низких температурах углеродистая сталь теряет пластичность и становится хрупкой, что во многом определяется кубической решеткой кристаллической структуры стали. Температура, при которой наступает охрупчивание стали, зависит от количества углерода и крупности зерен. Временное сопротивление разрыву и предел текучести горячекатаной арматуры, а также холодотянутой арматурной проволоки и канатов увеличиваются с понижением температуры.

При воздействии температуры минус  $165^\circ\text{C}$  в горячекатаных сталях класса А-II, А-III и А-IV временное сопротивление разрыву

увеличивается в среднем на 45%, предел текучести возрастает почти до временного сопротивления, а пластичность уменьшается и относительное удлинение сталей с 18% снижается до 1%. С уменьшением диаметра арматуры снижение относительного удлинения меньше.

При воздействии температуры минус  $165^\circ\text{C}$  в проволочной арматуре класса Вр-II и в арматурных канатах класса К-7 временное сопротивление разрыву увеличивается в среднем на 20%, условный предел текучести увеличивается на 25%, пластичность стали уменьшается и относительное удлинение после разрыва снижается с 7 до 6%.

При низких температурах применяют арматуру класса А-I

и А-II из стали марок Ст5, 18Г2С и 10ГТ, арматурную проволоку классов Вр-I, В-II, Вр-II и арматурные канаты классов К-7 и К-19. Арматуру класса А-III из стали марок 25Г2С и 35ГС применяют только в вязаных каркасах и сетках. Арматуру класса А-IV из стали марки 20ХГ2Т, класса Ат-IV из стали марки 25Г2С, класса А-V из стали марки 23Х2Г2Т, класса А-VI из стали марок 20Х2Г2СР, 22Х2Г2ТАЮ, 22Х2Г2Р — в виде цельных стержней мерной длины.

Механические свойства арматурных сталей в основном зависят от значения низкой температуры. Поэтому при расчете железобетонных конструкций на воздействие низкой температуры расчетное сопротивление арматуры умножают на коэффициент условия работы  $\gamma_{st}$ , значения которого для арматуры классов А-I, А-II и А-III при низких температурах (до минус 130°C) определяют по формуле

$$\gamma_{st} = 1 + 0,0016t_s$$

В этой и других формулах  $t_s$  — значение абсолютной расчетной температуры арматуры в °С. При температурах ниже минус 130°C значение коэффициента  $\gamma_{st}$  рекомендуется принимать таким же, как и для температуры минус 130°C.

Модуль упругости арматуры с понижением температуры возрастает. Его увеличение учитывается умножением модуля упругости арматуры при нормальной температуре на коэффициент условия работы  $\beta_s$ , который определяют по формуле

$$\beta_s = 1 + \varphi t_s$$

Коэффициент  $\varphi$  принимают равным 0,0004 для сталей марок Ст5 и 10ГТ и 0,00025 — для стали марки 35ГС.

С понижением температуры ниже 0°C наблюдается значительное уменьшение релаксации напряжений. У отпущенной высокопрочной проволоки  $\varnothing$  7 мм релаксация напряжений за 1000 ч при 20°C и 0,7R<sub>s</sub> составила 6,4% и при 0,8R<sub>s</sub> — 13%. При температуре минус 60°C за 48 ч и 0,7R<sub>s</sub> релаксация напряжений составила всего 0,7%. У стабилизированной проволоки

$\varnothing$  7 мм релаксация напряжений за 1000 ч при 20°C и 0,7R<sub>s</sub> составила 1,2% и при 0,8R<sub>s</sub> — 2,6%. При температуре минус 60°C за 48 ч и 0,7R<sub>s</sub> релаксация напряжений составила 0,5% и при минус 165°C — 0,15%.

В арматуре предварительно напряженных железобетонных конструкций при криогенных температурах релаксационные процессы практически не происходят, и потери предварительного напряжения в результате релаксации следует учитывать только до начала охлаждения (пуска в эксплуатацию) конструкции.

Значительное снижение релаксации напряжений при низких температурах позволяет сделать вывод о том, что деформации ползучести арматуры будут также уменьшаться.

При понижении температуры до минус 165°C коэффициент линейной температурной деформации горячекатаной арматуры класса А-I из стали марки Ст3 остается постоянным и имеет значение  $10,3 \cdot 10^{-6}$  1/°С. Коэффициент температурной деформации высокопрочной проволоки снижается с  $10,5 \cdot 10^{-6}$  1/°С при 20°C до  $7,6 \cdot 10^{-6}$  1/°С при температуре минус 165°C. Коэффициент температурной деформации арматуры класса А-II из стали марки 10ГТ при 20°C равен  $11 \cdot 10^{-6}$  1/°С и при минус 180°C —  $8 \cdot 10^{-6}$  1/°С. Коэффициент температурной деформации арматуры при низких температурах определяют по формуле

$$a_{st} = (10 - 0,0005 t_s) 10^{-6}$$

При высоких температурах у сталей, имеющих физическую площадку текучести, наблюдается ее уменьшение, и при температурах выше 300°C она отсутствует. В нагретом состоянии предел текучести арматурных сталей с повышением температуры снижается. При температурах 200—350°C углеродистая арматурная сталь приобретает синеломкость, вызванную элементами разной степени растворимости углерода и азота. С повышением температуры изменяются условия равновесия системы, и избыточные количества углерода и азота выделяются из

твердого раствора в виде тончайших субмикроскопических частиц, располагаясь по граням зерен. При температурах 150—350°C временное сопротивление арматуры классов А-II и А-III повышается. При более высоких температурах наблюдается снижение временного сопротивления.

При нагреве свыше 300°C углеродистые стали обладают высокой пластичностью, и относительное удлинение увеличивается с 18—20% до 30—38%. При температурах выше 450—600°C углеродистые стали склонны к графитизации и к сфероидизации карбидов. Графитизация происходит вследствие распада карбида железа с образованием частиц свободного графита. Сфероидизация карбидов протекает тем интенсивнее, чем выше температура, длительнее нагрев и больше содержания углерода в стали. Наличие элементов графитизации и сфероидизации свидетельствует о разупрочнении стали и снижении ее механических свойств при нагреве.

Низколегированные стали для арматуры классов А-IV, А-V и А-VI имеют такую же зависимость механических свойств от температуры, как и углеродистые стали, только максимальные значения временного сопротивления и предел текучести наблюдаются при более высоких температурах. Наличие легирующих добавок повышает температуру начала рекристаллизации по сравнению с углеродистыми сталями. При нагреве арматуры класса А-VI происходит уменьшение плотности стали вследствие температурного расширения. При 300°C мартенсит распадается на феррит и цементит. При 450—600°C происходит графитизация и сфероидизация карбидов. Все это вызывает снижение прочности арматуры класса А-VI из стали марки 22Х2Г2ТАЮ. При нагреве до 700°C условный предел текучести арматуры класса А-VI снижается в среднем на 77%, и временное сопротивление разрыву составляет 70%. Относительное равномерное удлинение арматуры класса А-VI при нагреве до 400°C уменьшается, что указывает на охрупчивание стали в этом интервале температуры.

При дальнейшем нагреве до 600°C происходит значительное увеличение относительного удлинения, и оно превышает первоначальное значение при нормальной температуре, а также указывает на повышение пластичности стали.

Нагрев термически упрочненной арматуры классов Ат-V и Ат-VI до 250—300°C несколько увеличивает временное сопротивление и условный предел текучести. Повышение прочностных свойств стали при нагреве до 300°C происходит из-за уменьшения внутренних напряжений, вызванных термической обработкой. При нагреве свыше 350°C прочностные свойства арматуры резко снижаются из-за потери термического упрочнения.

Арматура класса Ат-V при нагреве до 400°C снижает временное сопротивление на 15%, условный предел текучести — на 20% и условный предел упругости — на 22%, а при нагреве до 600°C эти характеристики снижаются соответственно на 74, 85 и 90%.

В арматуре класса Ат-VI при 400°C снижается временное сопротивление на 33%, условный предел текучести — на 27% и условный предел упругости — на 32%, а при 600°C эти характеристики снижаются соответственно на 79, 77 и 75%.

Снижение прочностных свойств арматуры классов Ат-V и Ат-VI сопровождается значительным увеличением пластических деформаций.

При нагреве до 300°C относительное удлинение арматуры класса Ат-V остается постоянным, равным 6%, а при повышении температуры до 700°C оно увеличивается до 50%.

Сопротивление арматуры растяжению и сжатию при нагреве определяется умножением сопротивления ее при нормальной температуре на коэффициент условия работы  $\gamma_{st}$ , значения которого принимают по СНиП 2.03.04-84.

При расчете остаточной несущей способности железобетонной конструкции, особенно после пожара, необходимо учитывать изменение прочностных свойств арматуры в охлажденном состоянии после нагрева.

Горячекатаная арматура класса А-I, А-II в охлажденном состоянии после нагрева до 500°C не изменяет механических свойств. Механические свойства не изменяются в горячекатаной арматуре класса А-III из стали марки 35ГС после нагрева до 650°C и класса А-IV из стали марки 80С после нагрева до 550°C. Наличие легирующих добавок в сталях повышает температуру рекристаллизации, благодаря чему прочностные свойства сталей марок 35ГС и 80С не изменяются после нагрева.

У арматуры из высокопрочной низколегированной холоднотянутой проволоки класса Вр-II после отжига до 450°C условный предел текучести снижается на 35%, а временное сопротивление растяжению — до 41%. Снижение прочностных свойств высокопрочной проволоки вызвано потерей наклепа, в результате чего пропадает эффект холодной обработки и повышается пластичность стали.

В арматуре из обычной холоднотянутой проволоки класса Вр-I наблюдается уменьшение прочности на 20% после отжига до 400°C. Ухудшение механических свойств проволоки после нагрева вызвано нарушением стабильности структуры стали при нагреве. С повышением температуры механические свойства арматуры ухудшаются. Стержневые горячекатаные арматурные стали в меньшей степени теряют механические свойства по сравнению с проволочной арматурой, прошедшей упрочнение.

У арматурных сталей при напряжениях меньше  $0,6R_{st}$  наблюдается прямолинейная зависимость между удлинением и напряжением. С увеличением содержания в стали легирующих добавок ее модуль упругости несколько повышается. Присадки никеля и кобальта снижают модуль упругости стали, а хром и вольфрам повышают его. Углерод незначительно повышает модуль упругости стали. Влияние наклепа на модуль упругости незначительно. Вызванное вытяжкой или сплющиванием стального стержня снижение модуля упругости частично восстанавливается отпуском при 100—300°C.

С повышением температуры до 400°C модуль упругости арматуры незначительно снижается, и особенно резкое уменьшение наблюдается при температурах, превышающих 400°C. При 600°C значение модуля упругости арматуры составляет 38—41% от начального. Воздействие высокой температуры на изменение модуля упругости арматуры учитывается коэффициентом условия работы  $\beta_s$ , значения которого принимаются по СНиП 2.03.04-84.

При кратковременном нагружении и напряжениях более  $0,6R_{st}$  при нагреве наблюдается развитие пластических деформаций арматуры. С повышением температуры под нагрузкой пластические деформации развиваются более интенсивно. Развитие пластических деформаций арматуры учитывается коэффициентом упругости  $\nu_s$ , который представляет собой отношение упругого удлинения к полному. С повышением температуры предел текучести снижается, а следовательно, уменьшается коэффициент упругости арматуры. Последний принимается в зависимости от температуры и длительности нагрева. При температурах до 200°C  $\nu_s = 1$ ; при кратковременном нагреве до 300 и 400°C равен 0,9 и 0,7 и при длительном нагреве — 0,6 и 0,3.

При длительном воздействии высоких температур предел текучести арматурных сталей не может служить основной расчетной характеристикой, так как при значительно меньших напряжениях появляются деформации ползучести. С повышением температуры последние увеличиваются. При длительном нагреве свыше 350°C расчетное сопротивление арматуры назначается с учетом предельных деформаций ползучести. Предел ползучести арматуры устанавливается по напряжению, вызвавшему обусловленную равномерную скорость ползучести, или по напряжению, вызвавшему в заданный период времени обусловленную суммарную деформацию ползучести.

Одним из основных факторов, влияющих на ползучесть стали, является ее химический состав. При температуре 400°C

увеличение содержания углерода в стали от 0,15 до 0,35% повышает предел ползучести. Дальнейшее увеличение содержания углерода понижает предел ползучести.

Ползучесть стали при высоких температурах зависит также от способов ее выплавки. У кипящей стали предел ползучести ниже, чем у спокойной мартеповской стали. Сталь, выплавленная в электропечах, имеет деформации ползучести значительно выше мартеповской стали. Деформации ползучести арматурных сталей имеют два четко выраженных участка. Первый участок с неустановившейся, уменьшающейся скоростью ползучести наблюдается в первые 10—60 ч испытания. Продолжительность затухания скорости ползучести увеличивается с повышением температуры. Второй участок — с установившейся скоростью ползучести. С повышением температуры и увеличением напряжения скорость установившейся ползучести возрастает. Ползучесть металла происходит вследствие развития пластических деформаций. Последняя не протекает одновременно по всему объему, а происходит локально, так как в кристаллах имеются дислокации.

Пластическая деформация упрочняет металл, а при нагреве деформируемого металла происходит его разупрочнение. Таким образом, при ползучести металла одновременно происходит упрочнение от наклепа и разупрочнение вследствие нагрева. Структурные изменения, связанные с процессом рекристаллизации, увеличивают скорость ползучести. Старение металла сопровождается также увеличением скорости ползучести.

На деформации ползучести высокопрочной проволоки при температурах выше 100°C в большей степени влияет температура, чем напряжение. По своей физической сущности релаксация, как и ползучесть, является результатом пластической деформации металла вследствие перемещения атомов в материале зерна. Развитие релаксации протекает также с затухающей скоростью. Чем выше напряжение, тем сильнее проявляется релаксация напряжений. Наиболее интенсивно, до 70—90%, процесс релаксации протекает в первые 10 ч. В последующем напряжения релаксации затухают и за 1000 ч возрастают всего до 20% по сравнению с данными за 100 ч. С повышением температуры релаксация напряжений

возрастает. Потери напряжений от релаксации в основном зависят от температуры и в меньшей степени от напряжения.

Наибольшие потери напряжений от релаксации имеет высокопрочная проволока и наименьшие — арматура класса А-IV из стали марки 80С. Потери напряжения от релаксации при нагреве весьма значительны, поэтому весьма актуальна задача повышения релаксационной стойкости арматуры. Различные термомеханические воздействия на сталь снижают потери напряжений от релаксации при нагреве.

При высоких температурах сталь расширяется. Температурное расширение арматуры зависит от класса и марки стали, а также от температуры. С увеличением степени легирования стали температурное расширение возрастает, и оно больше для высоколегированных сталей, чем для углеродистых и малолегированных.

Небольшое содержание никеля снижает температурное расширение. С повышением температуры до 500°C коэффициент температурного расширения арматурных сталей увеличивается с 10—12 до 13,5—14,5·10<sup>-6</sup> 1/°C, и значение его больше, чем для бетона.

*А.Н. ВОЛГУШЕВ, канд. техн. наук*

## Серное вяжущее и композиции на его основе

Предпосылками освоения серы в технологии стройиндустрии являются не только обширная сырьевая база технической серы и необходимость ее реализации, но и большая потребность народного хозяйства в долговечных, химических стойких материалах.

Так называемые "серные цементы" начали применяться еще в 20—30-е годы как замазки и мастики для заделки стыков, анкеровки и в других случаях. Составы их были включены в старое издание СНиПа по защите от коррозии. В те годы серные цементы в качестве вяжущего не применяли, так как сера была

дефицитным стратегическим материалом.

Исследованиями НИИЖБа показано, что из серы можно получать вяжущее путем модификации ее минеральным порошком и в некоторых случаях химическими добавками. Серное вяжущее можно использовать вместо цемента для получения бесцементных композиций. Технология производства серного вяжущего значительно проще цементной технологии. По сравнению с цементном аналогичных марок при изготовлении серного вяжущего достигаются снижение энергозатрат в 1,5—2,5 раза, по-

вышение экологической безопасности, снижение удельных капитальных затрат на организацию производства до 50%, безотходность производства, снижение себестоимости в 2,5—3 раза, повышение срока хранения готового продукта (практически без ограничений).

Серное вяжущее характеризуется маркой по прочности на сжатие. Модифицирующие добавки, вводимые в состав, подразделяют на пластифицирующие, стабилизирующие, антипирены, антисептики и комплексные. При добавлении цветных минеральных красителей можно

Таблица 1

Показатель	Серные бетоны	
	тяжелые	легкие
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2300—2600	1400—2000
Кратковременная прочность, МПа кубиковая призменная	40—60 35—50	30—50 25—40
Модель упругости при сжатии, МПа	(4—5) 10 <sup>4</sup>	(2—2,5) 10 <sup>4</sup>
Коэффициент Пуассона	0,18—0,2	0,31—0,24
КЛТР (x10в-6), °С	9—10	7—9
Линейная усадка, %	0,2—0,4	0,2—0,4
Водопоглощение, %	0,5—1,2	0,7—1,5
Водонепроницаемость, ати	10—16	8—10
Морозостойкость, циклы	200—400	50—150
Термостойкость, °С	80	80
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м°С)	—	0,35—0,4

получать серное вяжущее с широкой цветовой гаммой.

Композиции на основе серного вяжущего представляют собой искусственный каменный материал, образовавшийся в результате твердения отформованной смеси. Приготовление смеси и формовку изделий производят в горячем состоянии при температуре 130—150°С. Серные композиции в зависимости от сочетания инертных заполнителей по размерам фракции могут быть изготовлены в виде бетонов, растворов, мастик. По виду заполнителя серные бетоны подразделяют на легкие, тяжелые и особо тяжелые.

Усредненные показатели физико-механических свойств серных бетонов приведены в табл. 1.

По структуре серные бетоны могут быть плотные, поризованные, ячеистые и крупнопористые. Смеси серных бетонов в за-

висимости от расхода серного вяжущего обладают различной подвижностью и могут быть литыми, подвижными, малоподвижными, жесткими и особо жесткими. Способ уплотнения смеси определяется ее подвижностью и может быть реализован без внешнего воздействия, вибрацией, прессованием, комбинированным воздействием, набрызгом и др. Приготовление и укладку смеси серного бетона осуществляют на стандартном и специальном технологическом оборудовании, скомпонованном в технологическую линию. Жизнеспособность смеси серного бетона зависит только от температуры, и при поддержании ее в интервале 130—150°С практически неограничена. Застывшая смесь при повторном нагреве восстанавливает первоначальную подвижность. Твердение смеси серного бетона является физическим процессом и происходит в результате остывания, что сопровождается кристаллизацией серы на поверхности заполнителей и наполнителей, приводящей к "цементации" всех составляющих в монолитную структуру. Изделия из серного бетона могут изготавливаться в сборном, монолитном или сборно-монолитном вариантах.

Серные бетоны обладают высокой химической стойкостью при воздействии масел, растворов солей и кислот, суровых климатических и атмосферных условий (табл. 2).

В процессе перемешивания серное вяжущее обволакивает зерна мелкого и крупного заполнителей, заполняет межзерновые пустоты и образует рабочую смесь серного бетона, которая после уплотнения отверждается, образуя монолитную твердую структуру.

В НИИЖБе проводятся комплексные исследования серных бетонов применительно к их использованию не только в дорожном строительстве, но и при изготовлении химически стойких конструкций, декоративных плит и др.

Одним из недостатков бетона на основе серы является его низкая термостойкость и горючесть. Серный бетон плавится при температуре 120°С и при пожаре го-

Таблица 2

Среда	Коэффициент химической стойкости
Атмосферные условия	0,6—0,7
Вода	0,6—0,65
Растворы кислот 10%-ной концентрации серная соляная азотная фосфорная уксусная ледяная	0,3—0,4 0,5 0,5 0,7 0,5—0,6
Растворы солей 10%-ной концентрации сульфат натрия хлорид натрия фторид натрия	0,7 0,7 0,9
Магнезиально-хлоридно-сульфатная среда грунтовых вод Прикаспийской низменности	0,6—0,7
Машинное масло	0,9

рит с выделением двуокиси серы. Снижение горючести серного бетона достигается введением антипиренов, позволяющих получать композиции, имеющие тенденцию к самозатуханию, или нанесением огнезащитных покрытий.

Использование бетона с применением серы в случае пожара не таит в себе значительной опасности, так как ее объем в бетоне относительно невелик, и при нагревании большая часть тепла поглощается заполнителем. При возгорании серного бетона пламя с его поверхности легко сбивается струей воздуха или воды, а образующаяся при горении окись серы имеет резкий запах, что позволяет своевременно обнаружить очаг пожара.

Одним из наиболее явных преимуществ серного бетона по сравнению с цементным является быстрый набор прочности. Серный бетон достигает проектной прочности за несколько часов, причем влажность и температура окружающей среды не оказывают влияния на ее рост. Это позволяет изготавливать изделия из серного бетона при отрицательной температуре, что особенно важно при использовании их при ремонте покрытий автодорог и

аэродромов, емкостей и резервуаров, различных транспортных сооружений. Быстрое твердение серного бетона увеличивает обрачиваемость форм при изготовлении сборных изделий и позволяет отказаться от их длительной тепловой обработки.

При циклическом замораживании и оттаивании первостепенное значение приобретает термическая совместимость серы и наполнителя. На серном вяжущем при использовании тех же заполнителей, что и для цементного бетона, могут быть получены бетоны более высокой прочности.

Из других характеристик серного бетона следует отметить низкое водопоглощение (0,1—0,15%), пониженный коэффициент теплопроводности, пониженную электропроводность. Для повышения ударной прочности, прочности на растяжение и изгиб в серный бетон можно вводить обычное стекловолокно, в то время как в цементных бетонах оно подвергается коррозии в результате воздействия щелочной среды цементного камня.

Серные бетоны можно армировать стальной арматурой, причем прочность сцепления арматуры с бетоном не ниже прочности сцепления ее с цементными бетонами. Стойкость арматуры в серном бетоне обеспечивается его плотностью и защитным действием пленки сульфидных соединений, образующейся в зоне контакта арматуры с бетоном.

Стеновые конструкции из легких серных бетонов обладают стабильными теплотехническими показателями. Внедрение таких конструкций во многих регионах России, в том числе на Курилах и Камчатке, богатых серными рудами и природными легкими заполнителями, позволит комплексно решить проблемы малоэтажного строительства.

Технология пропитки в расплаве серы может быть рекомендована для повышения технических характеристик различных строительных конструкций (бетона, кирпича, древесины, асбестоцемента и др.), подверженных в период эксплуатации суровым климатическим воздействиям и действию агрессивных сред. Примером таких конструкций из цементного бетона могут служить дорожные и тротуарные плиты, бортовые камни, люки колодезцев, лотки, трубы, элементы полов животноводческих помещений, элементы оросительных систем и морских причалов, сваи, стойки виноградные и др. Возможно применение пропитки при выполнении ремонтных работ.

Цементные бетоны, пропитанные серой, обладают высокой прочностью (70—100 МПа), водонепроцаемостью (W12—W14), морозостойкостью (Мрз400—Мрз600), стойкостью в растворах солей и кислот, низким водопоглощением (0,5—1% по массе). Пропитку изделий в расплаве серы производят в специальных ваннах. Режим пропитки назначают в зависимости от массив-

ности изделий и принятой по проекту глубины пропитки. После пропитки изделий извлекают из расплава и охлаждают до температуры окружающего воздуха. Конструкции и изделия, пропитанные серой, не требуют дополнительной защиты и обладают повышенной прочностью.

Основным направлением использования серы, по мнению специалистов Канадского института серы (SUDIC), является производство сероасфальтобетона. На стадии приготовления смеси в состав асфальтобетона вводят серу, что позволяет снизить расход самой дорогостоящей составляющей (битума) на 20—30%. Смесь сероасфальтобетона обладает большей подвижностью, что позволяет лучше и с меньшими затратами машинного времени технологического оборудования уложить покрытие. Сера может вводиться в состав как в виде расплава, так и в виде порошка. Возможен вариант приготовления эмульсии расплава серы и битума в заданной пропорции. Сера в составе играет роль "жидкого наполнителя", находясь в процессе перемешивания и укладки в виде мельчайших капель. При остывании она преобразуется в твердые гранулы, выполняющие роль наполнителя. Введение в состав расплава серы экономит битум и повышает такие показатели покрытия, как сопротивление абразивному износу и термостойкость, что особенно важно для жарких южных районов России.

---

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

*Оригинал-макет изготовлен в Стройиздате  
с использованием настольной издательской системы на основе ПЭВМ*

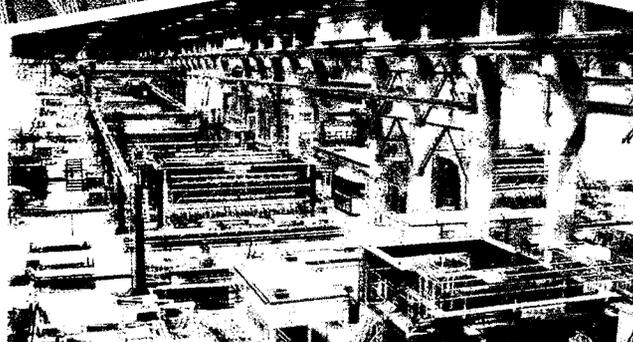
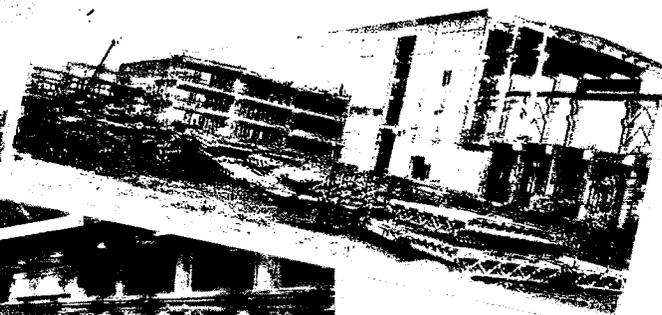
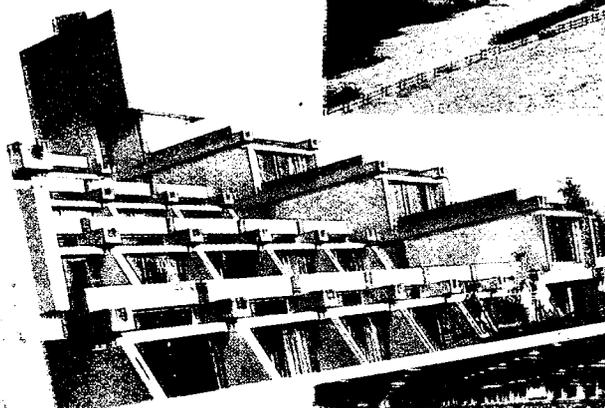
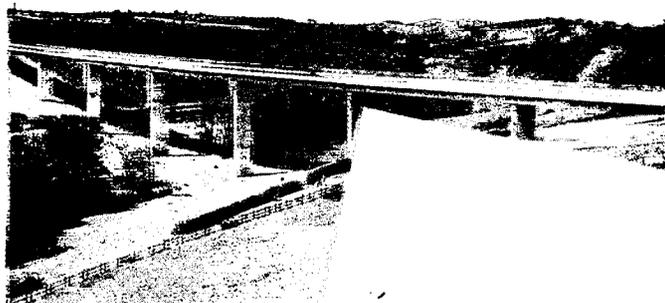
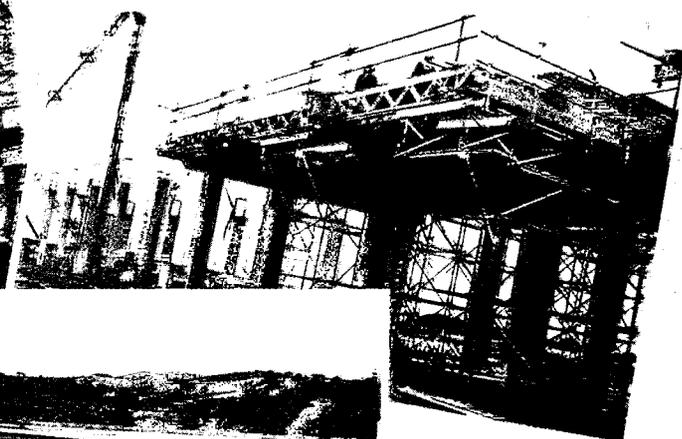
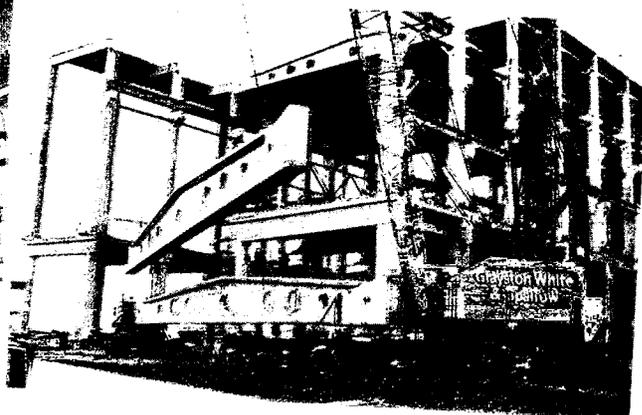
Технический редактор *Н.Е. Цветкова*  
Корректор *Н.Я. Шатерникова*

Подписано в печать 10.09.97. Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная.  
Усл.печ.л. 6,0. Уч.-изд.л. 6,8. Заказ № 251

Адрес редакции:  
Москва, Георгиевский пер., д. 1, строение 3, 3-й этаж  
Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, Долгоруковская ул., 23а  
тел. 292-62-05

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

Все большее число объектов современной городской и промышленной инфраструктуры возводят с применением бетона и железобетона. НИИЖБ окажет Вам любую консультативную и научно-техническую помощь в осуществлении Ваших строительных планов





### РАЗРАБАТЫВАЕТ:

- \* ВОПРОСЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
- \* НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ, В ТОМ ЧИСЛЕ НА БАЗЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
- \* ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБОРНЫХ И ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ
- \* МЕТОДЫ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ ОБСЛЕДОВАНИИ ПОСЛЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ И КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ — ПОЖАРА, ВЗРЫВА, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ
- \* ПРИНЦИПЫ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ ОТ ОГНЕВЫХ, ТЕПЛОВЫХ И КОРРОЗИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
- \* НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ РАЗЛИЧНОГО УРОВНЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА, ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ

### В ИНСТИТУТЕ СОЗДАЮТСЯ:

- \* НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ И ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ
- \* НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВКЛЮЧАЯ БЕЗУСАДОЧНЫЕ И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ
- \* НОВЫЕ ВИДЫ АРМАТУРЫ
- \* ХИМИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
- \* БЕЗАВТОКЛАВНЫЕ ЯЧЕИСТЫЕ И ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ С ВЫСОКИМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ
- \* НОВЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ МАССОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ БЫСТРОВОВОДИМЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

### НИИЖБ

- \* ЗАНИМАЕТСЯ РАЗРАБОТКОЙ МЕТОДОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
- \* ПРОВОДИТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩИХ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВОЗВЕДЕНИЯ
- \* РАСПОЛАГАЕТ МОЩНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗОЙ С СОВРЕМЕННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ И ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ ИССЛЕДОВАНИЙ
- \* ВЫПОЛНЯЕТ СЕРТИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЕРТИЗЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫМИ ОРГАНАМИ.

### ИНСТИТУТ ГОТОВ:

- \* ОБЕСПЕЧИТЬ ЗАВОДЫ И СТРОЙКИ НОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ ПРОИЗВОДСТВА СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
- \* ОКАЗАТЬ ПОМОЩЬ В ОСВОЕНИИ НОВЫХ РЕШЕНИЙ, ОБУЧИТЬ ПЕРСОНАЛ, СНАБДИТЬ НЕОБХОДИМОЙ НОРМАТИВНОЙ И ИНСТРУКТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ
- \* ПОДГОТОВИТЬ ЧЕРЕЗ АСПИРАНТУРУ И ДОКТОРАНТУРУ НАУЧНЫЕ КАДРЫ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЗАРУБЕЖНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ
- \* ОБЕСПЕЧИТЬ СЕРТИФИКАЦИЮ ПРОДУКЦИИ И КОНТРОЛЬ ЗА ЕЕ КАЧЕСТВОМ

### НАШ АДРЕС:

109428, МОСКВА, 2-я ИНСТИТУТСКАЯ ул., 6; ТЕЛЕФОНЫ: (095) 170-13-48, 171-26-69;  
ФАКС: 174-77-24; e-mail niizhb@glasnet.ru