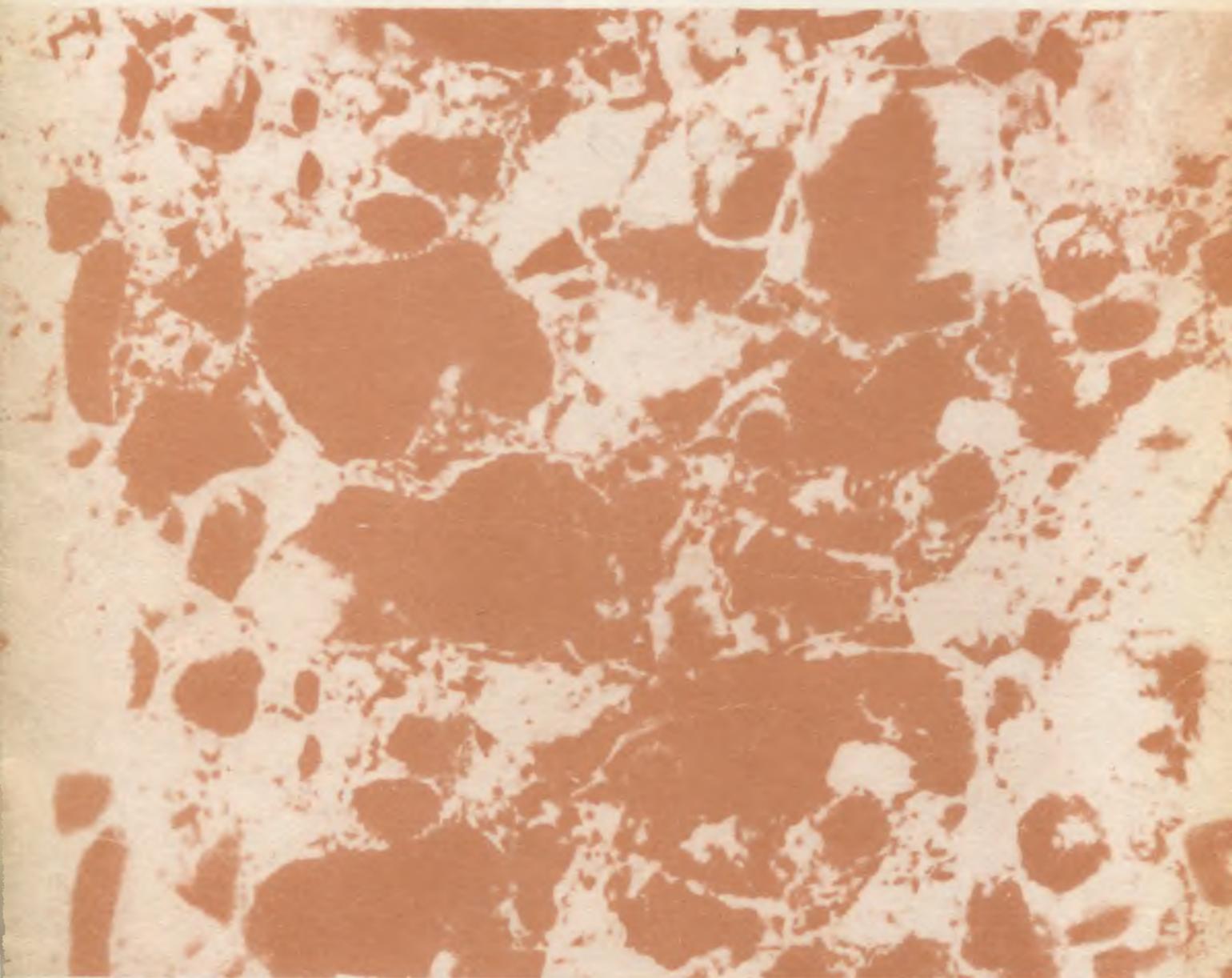


ISSN 0005-9889

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

# 9

1990



## ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

В связи с переходом НИИЖБ Госстроя СССР на полный хозяйственный расчет и самофинансирование изменяется порядок рассылки Рекомендаций, издаваемых самим институтом, по применению в практике новых разработок института. Получение Рекомендаций НИИЖБа возможно при компенсации части денежных средств, затраченных на проведение научно-исследовательских работ, результатом которых явилась разработка данных Рекомендаций. Ориентировочная сумма компенсационных затрат за один экземпляр Рекомендаций 100—500 руб. Гарантийные письма на приобретение Рекомендаций следует направлять по адресу: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, НИИЖБ, ОНТИ.

НИИЖБ заключает также договора на оказание научно-технической и консультативной помощи при внедрении своих разработок.

Порядок рассылки нормативно-инструктивных документов (ГОСТ, СНиП и пособия к ним) остается без изменения, т. е. через книготорговую сеть.

### Рекомендательные документы НИИЖБа

Шифр	Наименование	Договорная цена	Шифр	Наименование	Договорная цена
2.2.	Рекомендации по обследованию возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций и оценке их качества с применением неразрушающих методов	300	7.3.	Рекомендации по технологии изготовления фундаментных и дорожных плит из грунтобетона	120
3.2	Рекомендации по способам натяжения преднапряженной арматуры с использованием приборов ПИН-5 и замоноличиванию стыков каркасных и крупнопанельных зданий	180	7.5.	Рекомендации по изготовлению панелей внутренних стен на высокомеханизированных линиях вертикального формования	180
3.3	Рекомендации по проектированию косвенного армирования концевых участков преднапряженных конструкций со стержневой арматурой	180	8.4.	Рекомендации по назначению отпускной прочности сборных железобетонных изделий с учетом кинетики твердения в различных условиях	180
3.4.	Рекомендации по проектированию железобетонных составных свай	180	9.1.	Рекомендации по применению бетона с добавками электролитов и суперпластификатора при устройстве буронабивных свай в вечномерзлых грунтах	180
5.1.	Рекомендации по устройству теплых полов животноводческих зданий на основе вторичного полиэтилена	120	9.2.	Рекомендации по применению безгипсовых портландцементов с комплексными добавками для бетонирования монолитных и изготовления сборных конструкций	300
6.1.	Рекомендации по проектированию бетонных и железобетонных конструкций для жаркого климата	500	9.3.	Рекомендации по гелиотермообработке бетонных и железобетонных изделий с применением пленкообразующих составов	130
7.1.	Рекомендации по управлению составами бетона по результатам оперативного контроля входных и выходных параметров	120	9.4.	Рекомендации по комбинированной гелиотермообработке бетонных и железобетонных изделий в формах с покрытием СВИТАП на гелиополигонах круглогодичного действия	170
7.2.	Рекомендации по переработке и использованию отходов предприятий сборного железобетона	120			

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Конструкции

Гранев В. В. Железобетонные конструкции производственных зданий . . . . . 2

#### Бетоны

Гузев Е. А., Борисенко В. М., Спатаев И. О. Щелочесиликатный бетон для соле-морозостойких конструкций . . . . . 4

Багров Б. О., Васильева Т. Д., Садовский П. А., Федянин В. С., Паращенко В. В., Юрчук Т. Д. Ячеистые бетоны из промышленных отходов . . . . . 6

#### Заводское производство

Цыро В. В., Сохряков В. И., Барехов А. И., Соколов В. А., Шастун В. Н. Применение кассетно-конвейерных линий при реконструкции производств КПД . . . . . 8

Ермолаева Н. Н., Кенкиашвили Т. М. Влияние деформаций щитов на усилие в связях кассетных форм при формовании . . . . . 10

#### Строительное производство

Петраков Б. И., Искандеров И. Н., Селиванов В. П., Никитин А. С. Возведение тонкостенного монолитного купола с помощью пневмоопалубки . . . . . 12

#### Арматурное производство

Шапиро И. С., Сидлин Э. А., Куликов Г. А. Повышение эффективности использования электродов контактных машин . . . . . 13

#### В помощь проектировщику

Хайдуков Г. К., Волков И. В., Лачинов М. М. Работа стеклофибробетонных тонкостенных элементов при длительном действии нагрузки . . . . . 15

#### Теория

Суров К. Л., Нурмаганбетов Е. К. Определение универсальных жесткостных параметров железобетонных конструкций . . . . . 18

#### Библиография

Лецинский М. Ю. Полезный справочник . . . . . 20

#### Из истории науки

Миронов С. А. Этапы развития отечественной науки о бетоне . . . . . 21

#### Информация

Автоматизация процессов производства железобетонных изделий и конструкций . . . . . 23

#### Зарубежный опыт

Михайлов К. В., Захаров Л. В. Возведение железобетонных мостов методом поворота . . . . . 27

Волков Ю. С. Защитная стенка морской платформы в Северном море . . . . . 30

#### В порядке обсуждения

Жданов А. В., Однолько Б. А. К расчету поперечной арматуры . . . . . 31



УДК 624.012.45

В. В. ГРАНЕВ, канд. техн. наук (ЦНИИПромзданий)

## Железобетонные конструкции производственных зданий

Одним из направлений реализации Государственной научно-технической программы «Стройпрогресс-2000» является создание конструкций нового поколения на основе новых материалов с заданными свойствами, производство монолитного, сборного бетона и железобетона с применением высокоэффективных вяжущих веществ [1].

Наряду с этим разработанные ранее железобетонные конструкции производственных зданий найдут применение в течение длительного периода. Так, ЦНИИПромзданий совместно с другими проектными и научными организациями была пересмотрена действующая общесоюзная номенклатура железобетонных конструкций зданий и сооружений [2]. Установлено, что на ближайшие 5...8 лет в основном сохраняются действующие типовые конструкции с учетом их сокращения, расширения объема применения высокопрочных бетонов и арматуры, смешанного армирования, использования однотипных конструкций в зданиях и сооружениях.

Анализ зарубежного опыта показывает, что разработанные в нашей стране железобетонные конструкции массового применения, в основном, соответствуют мировому уровню. Это подтверждено исследованиями, проведенными странами-членами СЭВ (НРБ, Румынией, СССР и ЧСФР). В итоге был разработан каталог технико-экономических показателей конструктивных систем одно- и многоэтажных производственных зданий, применение которых предусмотрено в 1990—1995 гг.

Для одноэтажных зданий размером

72×72 м при пролетах 18 и 24 м показатели определяли на одну крайнюю ячейку (6×18 и 12×24 м), а для многоэтажных зданий размером 18×60 м — на одну среднюю секцию второго этажа размером 6×18 м (при высоте 4,2 м). Для зданий был принят нормальный температурный режим в неагрессивной среде.

Было установлено, что в странах-членах СЭВ для одноэтажных производственных и складских зданий используют конструктивные системы из железобетона или сочетания железобетонных и стальных конструкций.

Наиболее массовыми являются пролеты зданий 18 и 24 м, причем для пролетов 18 м применяют в основном железобетонные конструкции, а для пролетов 24 м — железобетонные и смешанные. Колонны во всех вариантах приняты железобетонными.

Следует отметить, что с пролетами 24 м применяют и железобетонные фермы (в Румынии и СССР). При необходимости пропуска воздухопроводов большого диаметра при механической вентиляции предлагается использовать в основном металлические фермы.

Сопоставление технико-экономических показателей зданий пролетом 18 м с балочными стропильными конструкциями показывает, что по расходу стали и бетона применяемые в ГДР, СССР и ЧСФР конструкции примерно равны, но трудозатраты при изготовлении конструкций в СССР больше (табл. 1). По-видимому, это объясняется различной методикой расчетов.

Расход стали и бетона на предна-

пряженные колонны одноэтажных бескрановых зданий примерно на 10 % меньше расхода на аналогичные колонны, применяемые в рассматриваемых странах-членах СЭВ, однако в СССР такие колонны находятся в стадии освоения.

Железобетонные стропильные балки пролетом 18 м применяют в ГДР, СССР и ЧСФР, а пролетом 24 м — в НРБ, ГДР и СССР. При этом расход стали на балки в ГДР и СССР меньше на 35...40 % по сравнению с НРБ и ЧСФР в основном благодаря применению преднапряженной арматуры из канатов. В целом, балки, применяемые в СССР и ГДР, имеют более высокие показатели не только по сравнению со странами-членами СЭВ, но и с ФРГ и Италией.

При анализе технико-экономических показателей плит покрытия длиной 6 м установлено, что применяемые в СССР преднапряженные плиты практически не отличаются по расходу стали и бетона от плит с обычным армированием (в ГДР и ЧСФР). Внедрение таких плит с обычным армированием в СССР по-видимому целесообразно также из-за того, что затраты труда на их изготовление в СССР выше, чем в ГДР. Плиты покрытия длиной 12 м, выпускаемые только в СССР и ГДР, имеют близкие показатели.

В ГДР, СРР и ЧСФР применяют металлические подкрановые балки пролетом 12 м, в НРБ — преднапряженные железобетонные балки с расходом стали 585 кг на каждую. В СССР выпускают стальные и железобетонные подкрановые балки, расход стали в которых составляет 579 кг.

Следует отметить, что при изготовлении несущих конструкций одноэтажных зданий в основном используют бетон средних классов В25...В40 (табл. 2).

В НРБ, ГДР и ЧСФР применяют несущие связевые каркасы многоэтажных зданий, в Румынии — рамные из-за наличия сейсмических воздействий, а в СССР — связевые и рамные. Следует

Таблица 1

Страна	Расход стали, кг/м <sup>2</sup>			Расход бетона, см/м <sup>2</sup>	Расход цемента, кг/м <sup>2</sup>	Затраты труда, чел·ч/м <sup>2</sup> , при	
	арматура	напряженная арматура	прокат и закладные детали			изготовлении	монтаже
СССР	3,9	2,6	1,3	9,9	40,8	0,88	0,36
ЧСФР	8,67	2,05	0,04	1,7	52,0	0,34	0,60

Таблица 2

Страна	Использование бетона, %, классов								Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>
	15	20	22,5	25	30	35	40	45	
НРБ	—	10	—	—	15	—	75	—	425
ГДР	—	6	—	72	—	—	—	22	470
Румыния	—	—	—	14	—	—	—	86	559
СССР	4	—	12	—	59	—	6	19	456
ЧСФР	—	26	—	—	5	—	69	—	429

отметить, что в ЧСФР конструктивная связевая система С1,3-СТЧ предполагается в рамном исполнении. При сравнении вариантов многоэтажных зданий в СССР по требованиям методики была принята связевая система по серии 1.020-1/83.

Технико-экономические показатели каркасов многоэтажных зданий представлены в табл. 3 для сетки колонн 6×6 м при нагрузке на перекрытия 10 кН/м<sup>2</sup>.

Принятая в СССР серия 1.020-1/83 имеет лучшие показатели по расходу стали и бетона, но более высокие трудозатраты на изготовление.

В результате анализа конструкций наружных стен был установлен перечень стеновых панелей массового применения для следующих стран: НРБ — единый вид наружной стены для одно- и многоэтажных зданий из железобетонных трехслойных панелей толщиной 180 мм; ГДР — газобетонные однослойные панели толщиной 300 мм для одноэтажных зданий и многослойные легкобетонные панели толщиной 210...250 мм с теплоизоляцией толщиной 75 мм для многоэтажных зданий; Румыния — единый вид наружной стены для одно- и многоэтажных зданий из железобетонных трехслойных панелей толщиной 150 мм; СССР — единый вид наружной стены для одно- и многоэтажных зданий из керамзитобетонных и ячеистобетонных однослойных панелей толщиной 200...250 мм; из трехслойных панелей толщиной 200...270 мм для одноэтажных зданий; ЧСФР — единый вид наружной стены для одно- и многоэтажных зданий из керамических трехслойных и ячеистобетонных однослойных панелей толщиной 300 мм.

Данные табл. 4 показывают, что наиболее эффективны трехслойные железобетонные панели на гибких связях с эффективной теплоизоляцией.

Выпускаемые в СССР железобетонные конструкции производственных зданий не всегда удовлетворяют современным требованиям при проектировании производственных зданий. С 1 января 1990 г. введен в действие ГОСТ 23838—89 «Здания предприятий. Параметры», который допускает свободное сочетание параметров зданий на основе более мелких градаций, т. е. наряду с единым

Таблица 3

Страна	Тип конструктивной системы	Расход стали, кг/м <sup>2</sup>			Расход бетона, см/м <sup>2</sup>	Расход цемента, кг/м <sup>2</sup>
		арматура	напрягаемая арматура	прокат и закладные детали		
НРБ	УС-73	14,8	2,2	10,4	23,6	99,8
ГДР	СКБС-75	14,5	2,5	1,2	28,7	115,2
Румыния	модуль 4009/2	21,3	—	1,8	23,3	91,1
СССР	1.020-1/83	14,5	3,0	7,1	16,0	64,4
ЧСФР	С1,3-СТЧ	16,5	1,5	2,1	24,6	103,2
ЧСФР	ЧМС-85	29,1	—	6,9	23,1	89,1

Таблица 4

Страна	Вид панели	Основные размеры, мм	Термические сопротивления, м <sup>2</sup> ·К/Вт	Относительная влажность, не более, %	Расход материалов, кг/м <sup>2</sup>	
					стали	бетона
НРБ	Железобетонная трехслойная	180×1190×5980	1,77	75	5,0	316
	Газобетонная однослойная	300×597×5970	1,50	70	3,6	220
ГДР	Легкобетонная многослойная	250×2080×6045	1,65	75	6,3	242
Румыния	Железобетонная трехслойная	150×1190×5970	—	60	7,2	249
	Керамзитобетонная однослойная	250×1185×5980	0,76	60	3,6	258
СССР	Ячеистобетонная однослойная	200×1180×5980	0,74	60	3,6	177
	Железобетонная трехслойная	225×1180×5980	1,85	80	7,6	365
ЧСФР	Керамическая трехслойная	300×1185×5985	1,46	80	9,2	132
	Ячеистобетонная однослойная	300×1780×5980	1,37	65	8,5	198

укрупненным модулем 60М (6000 мм) допускаются укрупненные модули 15М (1500 мм) и 30М (3000 мм), а по высоте — 3М (300 мм) и 6М (600 мм). Это позволяет более плотно удовлетворить разнообразные функциональные требования, предъявляемые к зданиям.

Для реализации требований ГОСТ 23838—89 необходимо совершенствовать технологию изготовления железобетонных конструкций. Так, колонны одноэтажных бескрановых зданий независимо от длины рекомендуется изготавливать в единой форме, стропильные балки длиной 15 м — в формах балок длиной 18 м, а длиной 21 м — соответственно в формах балок длиной 24 м, стеновые панели вертикальной разрезки, в том числе с окнами, также в единой форме и т. д. Благодаря унификации межвидовых конструктивных решений для объектов промышленного, сельскохозяйственного и гражданского строительства можно сократить номенклатуру конструкций на региональном уровне.

В последующем, при переходе на рыночные отношения проектные решения зданий должны иметь объемно-планировочные параметры, полностью отвечающие требованиям заказчиков. В этом случае необходимо переходить на так называемую конструктивную систему одно- и многоэтажных зданий, позволяющих из ограниченного числа элементов практически любой длины комплектовать здания межвидового назначения. Так, в ФРГ [3] разработана и применяется номенклатура несущих железобетонных конструкций одно- и

многоэтажных зданий различного назначения, изготавливаемых в переналаживаемых формах, которая включает прогоны, тавровые и двутавровые балки, плиты покрытия плоские и типа 2Т, тавровые и прямоугольные ригели, колонны.

На примере строительства многоэтажного гаража в г. Бохуме (ФРГ) установлено, что благодаря применению вышеперечисленных железобетонных конструкций, отсутствию сварочных работ и необходимости замоноличивания стыков, а также четкой организации работ здание было построено за 9 мес при продолжительности строительства аналогичного объекта в СССР около 3 лет [4].

Разработка аналогичных конструктивных систем в СССР позволит резко сократить время на подготовку производства и освоение новых конструкций для оперативного выполнения заказа строительных организаций при стабильности работы предприятий стройиндустрии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Серых Р. Л. Государственная научно-техническая программа «Стройпрогресс-2000» // Бетон и железобетон. — 1989. — № 9. — С. 2—3.
- Гранев В. В. Совершенствование номенклатуры конструкций промышленных зданий и сооружений // Промышленное строительство. — 1990. — № 1. — С. 11—12.
- Rösel W und Stoiter I. Beton — Fertigteile im Skelettbau Herausgeber Fachreinigung Beton tertigteilbu. — Beton — Verlag — Düsseldorf. — 1982.
- Гончаренко Д. Ф. Строительство из сборного железобетона в ФРГ // Бетон и железобетон — 1990 — № 1. — С. 30—31.

Е. А. ГУЗЕЕВ, д-р техн. наук, проф., В. М. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, И. О. СПАТАЕВ, инж. (НИИЖБ)

## Щелочесиликатный бетон для соле-морозостойких конструкций

Одним из способов повышения долговечности железобетонных конструкций, подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию растворов солей и низких отрицательных температур, является изготовление их из химически стойких бетонов, обладающих высокой соле-морозостойкостью.

Исследованиями [1] установлено, что разработанный в НИИЖБе щелочесиликатный бетон, благодаря плотной структуре с замкнутыми порами, обладает высокой прочностью на сжатие и растяжение, достаточной коррозионной стойкостью к действиям растворов кислот и минеральных масел.

При водонасыщении прочность щелочесиликатного бетона снижается вследствие растворения свободных щелочей и сорбционного эффекта на 30...35 %, оставаясь затем постоянной во времени. После удаления воды прочность бетона восстанавливается. Указанные свойства позволили предположить высокое сопротивление конструкций из щелочесиликатного бетона воздействию наиболее агрессивных сред — растворов солей и знакопеременных температур.

В НИИЖБе исследовали прочность и деформативность щелочесиликатного бетона в растворах солей различных концентраций при полном погружении и при попеременном насыщении и высушивании, а также при многократном замораживании и оттаивании в растворах солей.

Образцы изготавливали из мелкозернистого бетона состава: водорастворимый силикат натрия — 360, перлит тонкомолотый — 700, кварцевый песок Лю-

берецкого месторождения с  $M_k = 1-1250 \text{ кг/м}^3$ .

Влияние коррозионных процессов на прочность и деформативность бетона изучали на образцах цилиндрах ( $d_n = 100$ ,  $d_{вн} = 60$ ,  $H = 300$  мм). В качестве контрольных образцов служили кубы с ребром 100 мм и призмы размером  $70 \times 70 \times 280$  мм.

Принятая форма и размеры сечения образцов были аналогичны призматическим сечением  $70 \times 70$  мм, но имели по сравнению с ними некоторые преимущества. Равномерность концентрации среды по толщине стенки полого цилиндра обеспечивала ускоренное протекание адсорбционных и коррозионных процессов вследствие более быстрого достижения капиллярного и диффузионного равновесия в структуре образца. В этом случае внутренние напряжения в материале, возникающие вследствие градиента влажности и температуры, также являются минимальными. Цилиндры обладают развитой боковой поверхностью, достаточной для размещения измерительных приборов и более точного замера продольных и поперечных деформаций при нагружении.

Образцы серии I после насыщения водой, 10 и 25-ными растворами KCl и 5 %-ным раствором  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при полном погружении в течение 1, 3, 6, 12 и 18 мес испытывали кратковременно действующей нагрузкой. Наиболее неблагоприятными режимами для бетонов при воздействии растворов солей являлось попеременное насыщение и высушивание. Причина деструкции материалов при этом заключалась в накоплении кристаллов солей в

порах бетона и их увеличение в объеме при фазовом переходе безводных солей в кристаллогидраты.

Для исследования влияния указанных процессов на прочность и деформативность бетона образцы серии II, предварительно насыщенные растворами солей, перед испытаниями подвергали 100 циклам попеременного насыщения растворами с последующим высушиванием при  $t = 90...95$  °C в течение 48 ч.

Образцы серии III были предназначены для количественной оценки влияния морозной деструкции после 1000 циклов замораживания и оттаивания в растворах солей по ускоренному методу ГОСТ 10060—87.

В ходе экспериментов определяли прочность бетона на сжатие  $R'_{ef}$ , продольные  $\epsilon_1$  и поперечные  $\epsilon_2$  деформации, начальный модуль упругости  $E_b$ , полный коэффициент поперечной деформации  $\nu$ , полное  $\theta$  и дифференциальное изменение объема образца  $\Delta\theta$ , а также уровни микротрещинообразования  $R'_{crs}$  и  $R''_{crs}$ . Результаты испытаний при кратковременном сжатии приведены в таблице и на рис. 1, 2. Из рис. 1 видно, что расхождение опытных и теоретических значений не превышает 3...7 %.

В образцах, насыщенных растворами KCl и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  после 540 сут прочность снизилась на 3...5 % по сравнению с водонасыщенным бетоном. В бетонных образцах, подвергнутых 100 циклам насыщения и высушивания, а также 1000 циклам замораживания и оттаивания заметного снижения прочности не отмечалось.

Воздействие на щелочесиликатный бетон агрессивных сред более заметно повлияло на деформативность. На изменение диаграмм деформирования  $\sigma - \epsilon$ , поперечных деформаций  $\nu$  и изменения объема  $\theta$ ,  $\Delta\theta$  влияет также режим воздействия агрессивных сред (см. рис. 2).

Анализ результатов деформации бетона при полном погружении в агрессивных средах показал, что увеличение деформации предельного укорочения при сжатии происходило в первые 3 мес

Среда, режим	$R'_{ed}$ , МПа	$R''_{crs}$ , МПа	$R_{crs}$ , МПа	$E_b \cdot 10^{-3}$ , МПа	$\epsilon_{1R} \cdot 10^{-5}$ , мм/мм	$\epsilon_{2R} \cdot 10^{-5}$ , мм/мм
Воздух	89,9	73,7	89,0	42,5	280,0	82,5
Вода	56,6	40,2	51,0	18,6	361,4	102,5
10 % KCl	55,7	35,1	47,9	18,2	374,4	115,0
25 % KCl	55,3	34,5	47,0	17,8	388,2	127,5
5 % $\text{Na}_2\text{SO}_4$	55,6	35,0	47,6	18,1	376,3	116,3
100 циклов высушивания и намокания в воде	57,1	41,1	53,1	18,7	360,2	101,6
10 % KCl	55,2	35,4	48,9	18,3	373,0	112,0
25 % KCl	55,7	34,8	47,4	17,9	388,0	124,0
5 % $\text{Na}_2\text{SO}_4$	56,6	35,6	48,4	18,2	378,0	114,0
1000 циклов замораживания и оттаивания в 10 % KCl	55,7	34,5	47,4	17,5	403,1	160,0

воздействия. Деформативность увеличилась за этот период в воде, в 10- и 25 %-ном растворе KCl и в 5 %-ном растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на 20...30 %, 30...36 %, 35...40 % и 32...36 %. В дальнейшем влияние длительного действия среды на изменение деформативности постепенно уменьшалось и к 6 мес стабилизировалось. Повышение деформативности в период 3...6 мес было незначительным (5...7 % независимо от среды).

Воздействие на образцы попеременного насыщения растворами солей и высушивания не изменило их деформативность по сравнению с образцами постоянно находившимися в воде и в растворах солей при полном погружении.

Деформативность образцов подвергнутого предварительному воздействию 1000 циклов замораживания и оттаивания в растворах солей на всех уровнях нагружения оказалась выше, чем у насыщенных агрессивной средой при нормальной температуре. Так увеличение продольной деформации при уровне напряжения  $\eta=0,5 R'_{ef}$  — 5...8 %, при  $\eta=(0,8...0,95) R'_{ef}$  — 8...15 %.

Предельные продольные деформации образца бетона в воздушно-сухом состоянии, насыщенных водой, 10 и 25 %-ными растворами KCl и 5 %-ным раствором Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составляли  $\epsilon_{1R} = (275...290) 10^{-5}$ ,  $\epsilon_{1R} = (350...380) 10^{-5}$  мм/мм. Наибольшее значение  $\epsilon_{1R} = (400...410) 10^{-5}$  получено в бетонных образцах, подвергнутого длительному воздействию знакопеременных температур в растворах солей.

Модуль упругости водонасыщенного щелочесиликатного бетона снизился на 50...57 % по сравнению с воздушно-

сухим состоянием. Независимо от режима воздействия растворы солей незначительно (на 3...7 %) уменьшали  $E_b$  бетона по сравнению с водонасыщенным состоянием.

Воздействие агрессивных сред увеличивало также поперечные деформации бетона. Повышение предельных поперечных деформаций для водонасыщенного бетона составило 20...30 % по сравнению с воздушно-сухим состоянием. Насыщение растворами KCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> независимо от режима воздействия увеличило поперечные деформации на 10...25 %, воздействие знакопеременных температур — на 50...60 %. Воздействие растворов солей несколько изменило параметры микротрещинообразования. Нижняя граница микротрещинообразования в воздушно-сухом состоянии  $R'_{crc} = 0,8...0,85$ , верхняя граница  $R'_{crc} = 0,97...1$ . Воздействие среды снизило уровни  $R'_{crc}$  и  $R'_{crc}$ . Действие воды уменьшило уровни параметрических точек до  $R'_{crc} = 0,7...0,75$ ;  $R'_{crc} = 0,9...0,95$ . При воздействии растворов KCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при полном погружении, а также при попеременном насыщении и высушивании уровни параметрических точек составили  $R'_{crc} = 0,62...0,66$ ;  $R'_{crc} = 0,85...0,9$ . В бетоне, подвергнутом 1000 циклам замораживания и оттаивания, уровни параметрических точек снизились до  $R'_{crc} = 0,6...0,64$ ;  $R'_{crc} = 0,85...0,88$ .

Экспериментальные исследования физико-механических свойств бетона в различных агрессивных средах, в частности диаграммы деформирования  $\sigma-\epsilon$ , можно использовать для дальнейшего совершенствования методов расчета железобетонных конструкций с учетом агрессивных условий эксплуата-

Наиболее совершенным и хорошо уязвляющимся с современными численными методами установления напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных конструкций является аналитическое выражение зависимости  $\sigma-\epsilon$ , приведенное в источнике [2]

$$\epsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b} \quad (1)$$

где  $\epsilon_b$ ,  $\sigma_b$ ,  $E_b$  — относительные деформации, напряжения и начальные модули упругости бетона;  $\nu_b$  — коэффициент изменения секущего модуля:  $\nu_b = \nu_b \pm \pm (\nu_0 - \nu_b) \sqrt{1 - \omega_1 \eta - \omega_2 \eta^2}$ ,  $\nu_b$  — коэффициент в вершине диаграмм;  $\omega_1$  — начальный коэффициент изменения секущего модуля.

Для восходящей ветви диаграммы  $\nu_0 = 1$ ;  $\omega_1 = 2 - 2,5 \nu_b$ .

Для нисходящей ветви  $\nu_0 = 2,05 \nu_b$ ;  $\omega_1 = 1,95 \nu_b - 0,138$ ;  $\omega_2$  — коэффициенты, характеризующие плотность диаграмм материала:  $\omega_2 = 1 - \omega_1$ .

Аналитическое выражение (1) позволяет установить напряженно-деформированное состояние в элементах конструкции из щелочесиликатных бетонов с учетом изменений в структуре вследствие изученных воздействий и на основе модельных представлений прогнозировать долговечность конструкций.

В расчетах конструкций на кратковременное действие нагрузки в качестве исходной диаграммы одноосного сжатия (растяжения) бетона следует принимать диаграмму-изохрону, получаемую по исходным диаграммам одноосно нагружаемых с постоянными скоростями стандартных образцов-призм или цилиндров. Параметры диаграммы

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \gamma_{b,agr} R_b, ser; \\ b, agr &= \frac{\hat{\sigma}_b}{\epsilon_b E_{b,agr}}; \quad \eta = \frac{\hat{\sigma}_b}{\hat{\sigma}_{b,agr}}; \quad (2) \\ E_{b,agr} &= \beta_{b,agr} E_b \end{aligned}$$

где  $\gamma_{b,agr}$ ,  $\beta_{b,agr}$  — коэффициенты, учитывающие снижение цилиндрической прочности и начального модуля бетона в агрессивных средах;  $\hat{\sigma}_{b,agr}$ ,  $\hat{\epsilon}_{b,agr}$  — напряжения и деформации в вершине диаграммы;  $\eta$  — уровень напряжений.

Исследованиями установлено, что для щелочесиликатного бетона  $\gamma_{b,agr}$  и  $\beta_{b,agr}$  в зависимости от вида изученных воздействий в воздушно-сухом состоянии  $\gamma_{b,agr} = \gamma_{b,2}$ ,  $\beta_{b,agr} = 1$ ; в водонасыщенном состоянии  $\gamma_{b,agr} = 0,63$ ,  $\beta_{b,agr} = 0,44$ ; насыщенного 10 %-ным раствором KCl и 5 %-ным раствором Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при полном погружении и после 100 циклов высушивания и насыщения  $\gamma_{b,agr} = 0,62$ ,  $\beta_{b,agr} = 0,43$ ; насыщенного 25 %-ным раствором KCl при полном погружении и после 100 циклов насыщения и высушивания  $\gamma_{b,agr} = 0,61$ ,  $\beta_{b,agr} = 0,42$ ; под-

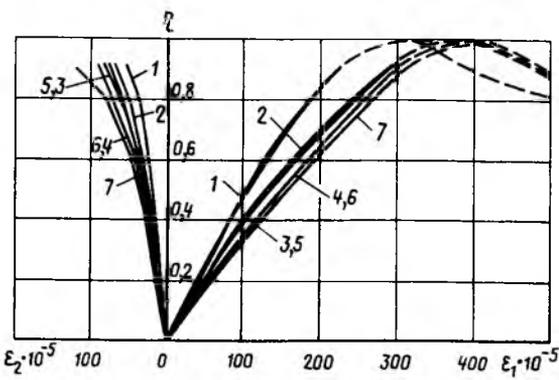


Рис. 1. Продольные и поперечные деформации щелочесиликатного бетона  
1 — в воздушно-сухом состоянии; 2 — насыщенного водой; 3 — насыщенного 10 %-ным раствором KCl и 5 %-ным Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 4 — насыщенного 25 %-ным раствором KCl; 5 — после 100 циклов насыщения 10 %-ным раствором KCl и высушивания; 6 — то же 25 %-ным раствором KCl; 7 — после 1000 циклов замораживания и оттаивания в 10 %-ном растворе KCl — экспериментальные данные; — — — расчет

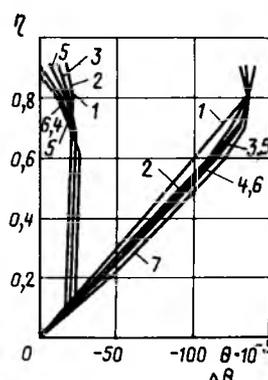


Рис. 2. Изменение относительного объема образцов из щелочесиликатного бетона  $\Delta V$  и его приращения  $\Delta V$   
1 — в воздушно-сухом состоянии; 2 — насыщенного водой; 3 — насыщенного 10 %-ным раствором KCl и 5 %-ным раствором Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 4 — насыщенного 25 %-ным раствором KCl; 5 — после 100 циклов насыщения 10 %-ным раствором KCl и высушивания; 6 — то же 25 %-ным раствором KCl; 7 — после 1000 циклов замораживания и оттаивания в 10 %-ном растворе KCl

вергнутых 1000 циклам замораживания и оттаивания в 10 %-ном растворе КСl  $\gamma_{b,agr}=0,62$ ,  $\beta_{b,agr}=0,41$ .

#### Выводы

Водонасыщение щелочесиликатного бетона на 30...35 % снижает его прочность и на 10...30 % увеличивает деформативность. Длительные воздействия растворов солей не уменьшают прочность бетона по сравнению с водонасыщенным состоянием (50...60 МПа), деформативность бетона при этом возрастает на 10...15 %.

Циклические замораживания и от-

таивания в растворах солей не снижают прочность по сравнению с соленасыщенным состоянием, деформативность при этом повышается на 5...10 %.

Приведенные аналитические выражения позволяют достаточно точно описать экспериментальные диаграммы  $\sigma-\varepsilon$  щелочесиликатного бетона, в том числе при воздействии агрессивных сред. Высокая прочность и деформативность бетона при длительном действии раствора солей, в том числе в условиях попеременного замораживания и оттаивания свидетельствует о целесооб-

разности его применения для изготовления соле-морозостойких бетонных и железобетонных конструкций.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коррозионно- и термостойкий материал — щелочесиликатный бетон / Е. А. Гузев, В. М. Борисенко, А. Н. Пименов, В. А. Отрепьев // Цветная металлургия. — 1986. — № 8 — С. 18—19.
2. Карпенко Н. И., Мухамедиев Т. А., Петров А. Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры. // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. — М.: НИИЖБ. — 1986. — С. 116—124.

УДК 691.327.33

Б. О. БАГРОВ, канд. техн. наук, Т. Д. ВАСИЛЬЕВА, инж. (НИИЖБ);  
П. А. САДОВСКИЙ, В. С. ФЕДЯНИН, В. В. ПАРАЩЕНКО, Т. Д. ЮРЧУК,  
инженеры (Белгород-Днестровский экспериментальный завод ячеистого бетона и изделий)

## Ячеистые бетоны из промышленных отходов

Внедрению технологических схем и процессов с использованием различных отходов промышленности, особенно в производстве строительных материалов уделяется большое внимание. НИИЖБ совместно с Белгород-Днестровским экспериментальным заводом ячеистого бетона и изделий (ЭЗЯБиИ) были изучены возможности применения в технологии ячеистых бетонов различных промышленных отходов: гальванических шламов, осадка Люберецкой станции аэрации и зольношлаковой смеси Бурштынской ГРЭС. Исследуемые отходы представляют собой пастообразные массы различных оттенков от темнокоричневого (шлам ПО им. С. П. Королева, уплотненный осадок Люберецкой станции аэрации) до светлосерого (шлам завода счетно-аналитических машин (САМ) им. В. Д. Калмыкова) влажностью 70...80 %. Химический состав промышленных отходов (в %) приведен в табл. 1.

В экспериментах применяли песок местного карьера Белгород-Днестровского

завода ( $\text{SiO}_2$  — 85 %), известь того же завода ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ —70...75 %), цемент завода РПО Укрцемент с добавкой 20 % доменного гранулированного шлака (сроки схватывания: начало — 2 ч., конец — 3 ч. нормальная густота цементного теста 27 %, алюминиевую пудру ПАП-1, стиральный порошок «Лотос».

Автоклавную обработку изделий проводили по режиму 3+8+3 ч при давлении пара 1,0 МПа.

Сырьевую смесь для изготовления ячеистого бетона готовили в смесителе СМС-40Б путем последовательного дозирования и непрерывного перемешивания компонентов: воды, песчаного шлама, добавки отходов (шламов, уплотненного осадка, зольношлаковой смеси), цемента, известкового вяжущего и алюминиевой суспензии. Было отформовано несколько партий из газобетона по два массива размерами 6,0×1,5×0,7 м. После достижения необходимой пластической прочности отформованный массив разрезали на бло-

ки требуемых размеров. Изготавливали также несколько стеновых панелей с различными комбинациями отходов (см. рисунок).

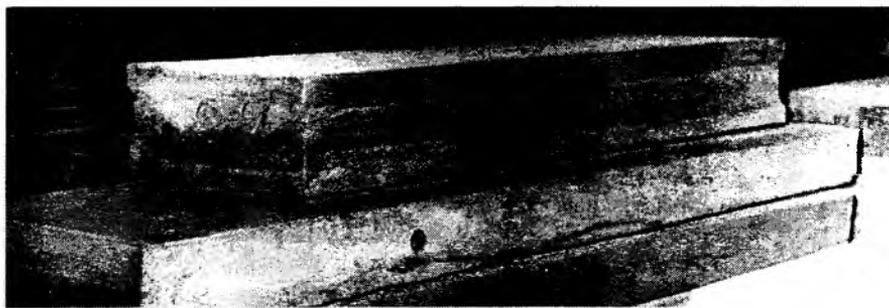
В результате проведения работ было установлено, что добавки металлургических шламов и осадка Люберецкой станции аэрации обладают некоторым пластифицирующим эффектом. Ингибирующее действие оказывают добавки шлама с большим содержанием соединений тяжелых металлов. Особенно это относится к бетону с добавкой шлама завода САМ им. В. Д. Калмыкова. Введение шлама сверх определенного количества приводит к резкому падению прочностных показателей (табл. 2).

Содержание соединений тяжелых металлов (Cu; Zn; Pb; С и др.) регламентируется санитарно-гигиеническими нормативами предельно-допустимых концентраций (ПДК)\*. Контроль осу-

\* Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде.— Л.: Химия.— 1975.— 202 с.

Таблица 1

Вид отхода	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	R <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NiO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	PbO	ZnO	S
Шлам ПО им. С. П. Королева	5,6	2,8	15,8	0,07	1,4	0,5	0,06	6,4	0,02	0,02	0,3	6,3	0,02	0,1	—
Шлам завода САМ им. В. Д. Калмыкова	2,63	3,73	2,3	0,06	37,09	3,05	0,09	0,12	1,32	1,13	0,84	4,87	0,02	0,74	0,2
Осадок Люберецкой станции аэрации	10,5	2,1	1,4	0,03	29,4	1,1	0,09	0,5	6,8	0,04	0,3	0,8	0,02	0,3	3,5
Зольношлаковая смесь Бурштынской ГРЭС	44,3	21,4	6,4	0,04	2,3	1,9	0,01	1,8	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	2,8



Внешний вид панелей из газобетона, изготовленных с применением гальванического шлама

Таблица 2

Вид добавки	Расход добавки, % по массе	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность МПа, при		Морозостойкость	Усадка, мм/м	Текущая смесь, см
			сжатию	изгибе			
Шлам завода САМ им. В. Д. Калмыкова	—	610	3.35	1.1	25	0.48	20
	5	580	3.12	0.9	25	0.45	24
	10	615	2.51	0.7	15	—	25
	50	620	0.5	0.1	—	—	—
Шлам П. О. им. С. П. Королева	до 5	600	3.05	1.0	35	0.49	22
Осадок Люберецкой станции аэрации	до 5	610	3.14	1.0	35	0.5	21
Золошлаковая смесь Бурштынской ГРЭС	20	625	3.65	1.21	35	0.5	21

Таблица 3

Вид добавки	Расход добавки, % по массе	Время контакта, сут	Содержание, мг/л						
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu	Pb	Zn	Ba
Шлам завода САМ им. В. Д. Калмыкова	до 5	1	<0,2	<0,02	0,09	0,05	<0,02	<0,02	0,04
		7	<0,2	<0,02	<0,02	0,05	0,02	0,02	0,04
		28	<0,2	<0,02	0,06	<0,02	0,02	0,02	0,04
	50	1	<0,2	<0,02	0,09	0,1	0,02	0,04	0,2
		7	<0,2	<0,02	0,09	0,15	0,02	0,04	0,2
		28	<0,2	<0,02	0,09	0,15	0,02	0,04	0,2
Шлам П. О. им. С. П. Королева	до 5	1	<0,2	<0,02	0,06	0,03	<0,02	<0,02	<0,04
		7	<0,2	<0,02	0,06	0,03	<0,02	<0,02	0,04
		28	<0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04
Осадок Люберецкой станции аэрации	до 5	1	<0,2	<0,02	0,03	0,02	<0,02	<0,02	<0,02
		7	<0,2	<0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	<0,02
		28	<0,2	<0,02	<0,02	0,02	0,02	0,02	<0,02
Золошлаковая смесь Бурштынской ГРЭС	20	1	<0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
		7	<0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
		28	<0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
ПДК			Fe <sup>+3</sup> -0,5	0,1	Cr <sup>+3</sup> -0,5 Cr <sup>+6</sup> -0,1	0,1-1,0	0,1	1,0	4,0

шестивалента по степени их выщелачиваемости из измельченных образцов газобетона в водную среду. Опыты проводили во Всесоюзном научно-исследовательском институте минерального сырья путем контактирования навески газобетона, измельченного до удельной поверхности 2500...3000 см<sup>2</sup>/г по прибору ПСХ-2 с водой в соотношении твердое вещество: жидкость = 1:20 в течение 1; 7 и 28 сут. при комнатной температуре. После фильтрации водную часть проверяли на наличие загрязняющих веществ.

Как видно из данных анализов (табл. 3) содержание вредных примесей не превышает норм ПДК. В Научно-исследовательском институте гигиены дополнительно исследовали воздушную среду на выделение вредных веществ. В результате было установлено, что миграция этих веществ в воздухе не наблюдается.

Работы, проведенные с использованием золошлаковой смеси Бурштынской ГРЭС, показали возможность замены 20 % молотого песка без ухудшения физикомеханических характеристик полученного материала (см. табл. 2).

Таким образом, в результате проведенных работ была установлена возможность утилизации различного вида отходов, в том числе, металлургических шламов при изготовлении ячеистого бетона на смешанном вяжущем. Бетон, полученный с применением отходов, соответствует требованиям ГОСТ 21520—76.

удк 69.057.7:621.867

В. В. Цыро, канд. техн. наук, В. И. СОХРЯКОВ, А. И. БАРЕХОВ, инженеры (Минсевзапстрой РСФСР); В. А. СОКОЛОВ, канд. техн. наук (ВНИИЖелезобетон); В. Н. ШАСТУН, канд. техн. наук (Днепропетровский инженерно-строительный ин-т)

## Применение кассетно-конвейерных линий при реконструкции производств КЖД

Развитие жилищного строительства в нашей стране требует дальнейшего наращивания мощностей и улучшения их использования в заводском производстве крупнопанельного домостроения. Совершенствование КЖД происходит благодаря реконструкции и техническому перевооружению действующих предприятий на основе прогрессивных технологий и оборудования. К нему относятся и кассетно-конвейерные линии изготовления плоских изделий (панели внутренних стен и перекрытий, доборные элементы и др.).

В настоящее время в нашей стране работает 23 кассетно-конвейерные линии конструкции СКТБ Стройиндустрия Минсевзапстроя РСФСР, ЭКБ Минуралсибстроя РСФСР, треста Оргтехстрой и завода ЖБК № 4 Минвостокстроя РСФСР, ЦНИИЭПжилища. Наибольшее распространение получили внедряемые с 1982 г. кассетно-конвейерные линии СКТБ Стройиндустрия, предназначенные для реконструируемых производств КЖД нового строительства. Их достоинства в высокой компоновочной гибкости, обеспечении широкой номенклатуры изделий, вариации по мощности, обеспечении выпуска качественных изделий, простоте изготовления и эксплуатации, улучшении

условий труда, экономической эффективности (см. рисунок).

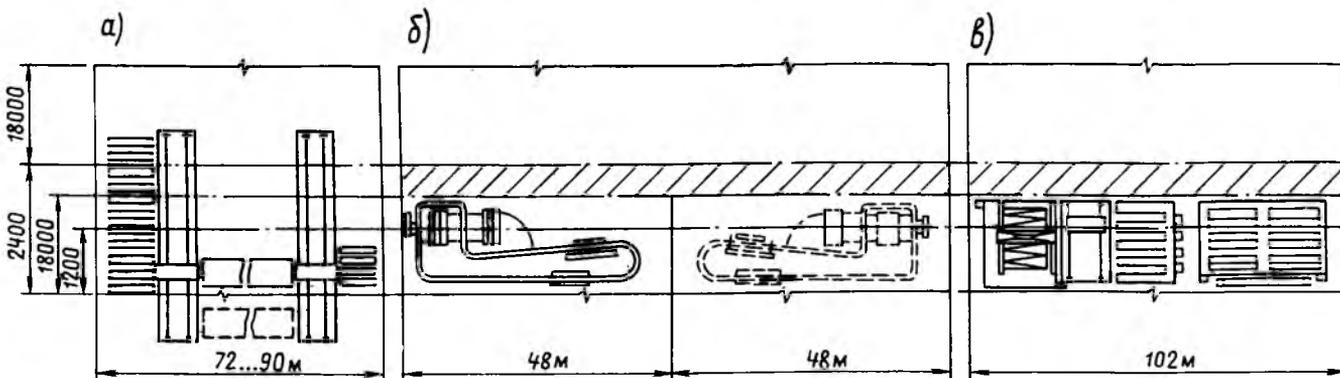
Кассетно-конвейерные линии СКТБ Стройиндустрия работают в пролетах 12 м (Новгородское ПСО КЖД), 18 м (Калининский и Чебоксарский заводы КЖД и др.) и 24 м (Ивановский ДСК). На некоторых заводах они частично занимают часть смежного пролета. Линии, размещенные в пролетах длиной до 90 м с отметкой головки рельса 8,15, могут сопрягаться с различными системами подачи бетонной смеси (бетоновозная тележка, транспортер, приготовление на месте, бетононасосы, кубель). Камеры вторичной тепловлажностной обработки иногда размещают в цехе и используют при этом в качестве арматурно-сборочного участка (Чебоксарский завод КЖД ПСО Чувашградстроя) или вне его (Бийский ДСК). Компоновка позволяет иметь две или три передаточные тележки, т. е. формовочные установки могут работать как тупиковые или проходные.

Компоновочная вариабельность этих линий значительно выше, чем линии других типов. Это позволяет хорошо вписываться в любые реконструируемые цехи, а также дает возможность осуществлять техническое перевооружение без остановки производства, постепен-

но заменяя стендовые кассеты (опыт Калининского и Ковровского заводов КЖД). Подтверждением правильности выбранной компоновки является и то, что ведущие в технологии КЖД зарубежные фирмы (Kesting, Prefabtech, и др.) используют почти аналогичные технологические решения. Такую же схему при разработке кассетно-конвейерных линий применил Гипростроммаш.

Выбираемая для реконструкции линия должна иметь широкий диапазон мощностей при использовании одного и того же оборудования. При этом наращивание мощности следует осуществлять плавно, через небольшие интервалы. Рост мощности при использовании конвейерной линии СКТБ Стройиндустрия происходит достаточно плавно вследствие увеличения числа формовочных установок (см. таблицу). Проведенными СКТБ Стройиндустрия и Днепропетровским инженерно-строительным институтом исследованиями установлено, что линии имеют пределы мощности: ЭКБ Минуралсибстроя РСФСР — 25, ЦНИИЭПжилища — 50, СКТБ Стройиндустрия — >50 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Построены линии мощностью 17 тыс. м<sup>3</sup> или 100 тыс. м<sup>2</sup> (Новгородское ПСО), 21 тыс. м<sup>3</sup> или 130 тыс. м<sup>2</sup> (Ковровский завод КЖД), 35,6 тыс. м<sup>3</sup>



Сравнение технологических компоновочных схем различных типов кассетно-конвейерных линий

а — СКТБ Стройиндустрия (мощность 15...56 тыс. м<sup>3</sup> или 100...300 тыс. м<sup>2</sup>); б — ЭКБ Тула (Каменск-Уральск) (мощность 20 тыс. м<sup>3</sup>, или 100 тыс. м<sup>2</sup>); в — клиновья (Таллинн) (мощность 40 тыс. м<sup>3</sup>, или 200 тыс. м<sup>2</sup>)

Заштрихована зона нерационального использования

Вологодская областная универсальная научная библиотека

© Цыро В. В., Сохряков В. И., Барехов А. И., Соколов В. А., Шастун В. Н., 1990

www.booksite.ru

или 200 тыс. м<sup>2</sup> (ПСО Чувашградострой), 40 тыс. м<sup>3</sup> или 200 тыс. м<sup>2</sup> (Ивановский ДСК и др.). Кроме того, разработаны линии малой мощности (8...15 тыс. м<sup>3</sup>/г) — кассетно-поточная линия для изготовления панелей внутренних стен для соцкультбыта серии 1.090, предложенная СКТБ Стройиндустрия при участии ВНИИжелезобетона. В настоящее время такие линии сооружают в Орле, Петрозаводске, Брянске и др. городах.

Кассетно-конвейерные линии СКТБ Стройиндустрия позволяют выпускать широкую номенклатуру плоских изделий. На действующих заводах производят панели внутренних стен для домов серии 111-121, 111-90, 111-75 и др., в том числе сейсмостойкие. Имеется оборудование для выпуска панелей перекрытий.

На этих линиях можно изготавливать плоские изделия толщиной 80...160 мм и более, высотой до 3,6 м, длиной до 6,7 м. Таким образом кассетно-конвейерные линии служат для выпуска панелей внутренних стен различных серий, панелей внутренних стен для объектов соцкультбыта (Чебоксарский завод КПД), панели перекрытий (строящиеся линии на ДСК в Коврове, Калуге), промышленные перегородки (ЖБК, Мга) и плоские доборные элементы. На Ковровском заводе КПД без всякой переделки на кассетно-конвейерной линии изготовили по принятой технологии трехслойную наружную стеновую панель.

Качество изделий, получаемых на линиях СКТБ Стройиндустрия, удовлетворительное. Линии Минсевзапстроя РСФСР для повышения заводской готовности изделий комплектуют специальным отделочным конвейером. Следует отметить хорошее качество изделий, выпускаемых на клиновых кассетах (Таллинский и Иркутский ДСК) и невысокое качество на кассетной линии в Каменск-Уральске (ЭКБ, Тула).

К достоинствам линии СКТБ относится несложная переналадка формовочных установок для выпуска панелей различной толщины, наличие нескольких подвижных форм, что позволяет практически полностью исключить переналадки и создать гибкую систему комплектации изделиями строящихся объектов.

Оборудование изготавливают серийно на механических неспециализированных заводах Минсевзапстроя РСФСР. Так на Каменск-Уральской кассетной линии трудоемкость более чем в 1,5 раза выше, чем на линии СКТБ, а производство клиновой кассеты требует специализированных предприятий из-за высоких требований плоскостности фор-

Шифр формовочной установки	Максимальные габариты, мм			Установленная мощность, кВт	Масса, т
	длина	ширина	высота		
851.01	7200/5620	2878/—	3450/2570	4,4	36,0
851.A.01	8150/6520	2878/—	3450/2650	4,4	37,0
885.01	8600/6730	1900/—	3926/3040	4,4	34,3
885.A.01	8600/6700	2300/—	4161/3300	4,4	38,6
885.B.01	8600/6700	2300/—	4466/3600	4,4	40,1
885.B.01	8600/6700	1900/—	3536/2650	4,4	31,7
ККЛ-II — 3, 6-01	8200/6580	1700/—	4300/3580	8,8	41,8
ККЛ-BC-3, 0-1	8200/6580	1600/—	3700/3000	13,8	28,0

Примечания. 1. Перед чертой — оборудования; после черты — изделий. 2. Толщина изделий — 100...160 мм

мующих листов.

Кроме того, для кассетно-конвейерной линии необходим только один 10-тонный кран, который служит для распалубки изделий и подачи арматурных каркасов на пост армирования. На остальных линиях кран задействован на многочисленных технологических операциях.

Одной из главных задач при разработке нового оборудования является создание благоприятных условий труда рабочих. Примененная технологическая схема линии СКТБ Стройиндустрия позволяет полностью исключить вредное воздействие шума, вибрации, высоких температур, паров масла.

К конструктивным недостаткам линий СКТБ Стройиндустрия относится неудовлетворительная работа машин чистки и смазки. Технологическим недостатком следует считать особые требования к цементам с целью сокращения сроков набора прочности до предварительной распалубки, что нередко удлиняет технологический срок первичной термообработки.

Однако, значительный опыт эксплуатации кассетно-конвейерных линий в Минсевзапстрое РСФСР подтверждает их достаточную конструктивную и технологическую надежность в производственных условиях. Все линии обеспечивают выполнение плановых заданий по выпуску требуемой номенклатуры изделий. Начато изготовление опытных образцов более совершенных бетоноукладчиков, машин чистки и смазки. С целью сокращения сроков первичной термообработки осуществляют рациональный подбор составов бетонов, согласно разработанных СКТБ Стройиндустрия и ВНИИжелезобетон Рекомендаций, а также применение различных добавок — ускорителей твердения. Сокращению сроков первоначального выдерживания способствует глубинное вакуумирование. Проведенные на Новогорском ДСК опыты показали возможность достижения необходимой распалубочной прочности через 60...80 мин. Внедряются высокочастотные навесные и глубинные пневматические вибраторы и установки виброшелевого формования. Осуществляется комплексная автоматизация кассетно-конвейерной линии

с применением программируемого контролера.

Разработана автоматизированная система многократного повторного вибрирования отформованных изделий, что также должно способствовать быстрому нарастанию прочности изделий. Проведена разработка формовочных установок с вибрационной системой с горизонтальными колебаниями.

Механизация навивки арматуры в панели внутренних стен (ПСО Чувашградострой) позволяет не только ускорить армирование, но и сократить расход стали на 10...15%. Специальная установка прошла производственные испытания на Чебоксарском заводе КПД ПСО Чувашградостроя.

В настоящее время Минсевзапстрой РСФСР располагает различными системами подачи бетонной смеси (бетоноукладчики, кубель, бетононасос), различными типами формовочных установок и подвижных форм к ним, конвейерами подготовки форм, оснащенными различным оборудованием, порталными установками механизации армирования, конвейерами отделочно-транспортными, системой автоматизации основных технологических переделов.

Кассетно-конвейерные линии, принимаемые при реконструкции и техническом перевооружении заводов КПД Минсевзапстроя РСФСР, обладают высокими технико-экономическими показателями и более эффективны по сравнению с другими типами кассетно-конвейерных линий, что также видно из приведенных технических данных наиболее распространенных линий:

Производительность, м <sup>3</sup> /г.	35000/20000
Численность персонала, чел.	12/8
Производственная площадь, м <sup>2</sup> .	1800/930
Металлоемкость, т.	573,9/404,4
Удельная металлоемкость, кг/м <sup>3</sup>	16,50/20,22
Выработка на одного рабочего, м <sup>3</sup> /чел.	2917/2500
Съем с 1 м <sup>2</sup> производственной площади, м <sup>4</sup> /м <sup>2</sup>	19,44/21,5
Трудозатраты, чел-ч/м <sup>3</sup>	0,71/0,83
Перед чертой кассетно-конвейерная линия Минсевзапстроя РСФСР, после черты Минуралсибстроя РСФСР.	

Анализом действующих линий (ДСК Пенза, Волжск, Ковров, Ленинад,

Н. Н. ЕРМОЛАЕВА, канд. техн. наук (ЦНИИЭП жилища); Т. М. КЕНКИАШВИЛИ, инж. (ЦМИПКС при МИСИ)

## Влияние деформаций щитов на усилие в связях кассетных форм при формовании

Калинин, Бийск и др.) установлена их высокая эффективность. Средний процент (по одиннадцати линиям) рентабельности — 39,3 %, средний срок окупаемости — 2,8 г. при средних показателях съема с 1 м<sup>2</sup> производственных площадей 13,5 м<sup>3</sup> и выработке на одного рабочего 813,5 м<sup>3</sup>.

Минсевзастрой РСФСР предусматривает и в дальнейшем широкое внедрение кассетно-конвейерных линий СКТБ Стройиндустрия. До конца пятилетки предлагается ввести в эксплуатацию 20 таких линий, что обеспечит суммарный годовой экономический эффект около 2,7 млрд. р., сокращение затрат на 22,1 тыс. чел.-дн, экономии металла на технологическое оборудование 16,3 тыс. т, сокращение капиталовложений на 20 %.

В настоящее время продолжается совершенствование кассетно-конвейерной технологии и оборудования — КТБ Стройиндустрия Минюгстроя РСФСР и ЭКБ Минуралсбстроя РСФСР разрабатывают линию типа «Пакет». СКТБ Стройиндустрия завершило создание многоотсечной формовочной установки ККЛ-V.

Новая многоотсечная формовочная установка универсальна. Она позволяет одновременно изготавливать 8...24 изделий с габаритами 3,1×7,2 м, толщиной 80...160 мм без переналадки. Формовочная установка дает возможность бетонировать все отсеки сразу, а распалубку производить также сразу или по четыре изделия. Новая формовочная установка может работать в составе кассетно-конвейерной линии, или как кассетная линия с полной тепловлажностной обработкой в отсеках. В настоящее время осуществляют привязку линии с новыми формующими машинами для заводов КПД.

Кассетно-конвейерные линии, оснащенные новыми многоотсечными формующими установками, значительно эффективнее широко распространенной линии 851-А. Их применение позволяет сократить капитальные затраты на 50 %, повысить выработку на одного рабочего более чем в 3 раза, снизить удельную металлоемкость на 50 %, увеличить съем продукции с 1 м<sup>2</sup> производственной площади более, чем в 2 раза, повысить качество поверхностей благодаря применению глубинного вибрирования, применять различные цементы вследствие значительного увеличения цикла первичной тепловлажностной обработки изделий.

Учитывая накопленный опыт, выбирать тип кассетно-конвейерной линии следует исходя из конкретных условий реконструируемого предприятия, с учетом его мощности.

На многих заводах КПД для производства панелей внутренних стен и перекрытий применяют кассетно-конвейерные линии. Это единичные или мелкосерийные образцы, которые проходят производственную проверку и доработку в условиях промышленного производства. К ним относится кассетно-конвейерная линия с подвижными щитами на Парнасском производстве строительных конструкций Главленинградстроя, которая эксплуатируется с 1982 г. Метод подвижных щитов позволяет укладывать бетонные смеси с  $O.K.=1...2$  см (рис. 1).

В настоящее время на линии достигнута реальная экономия цемента  $> 100$  кг/м<sup>3</sup> бетона по сравнению с кассетным производством вследствие использования малоподвижных бетонных смесей. Процесс формования полностью механизирован. Существенным недостатком линии является сложность конструктивных решений, что приводит к частым отказам оборудования, появление просадок верхней кромки панели, обусловленное в основном нарушением требований профилактики и ремонта вибробункеров, попадание бетонной смеси на пакет при формовании вследствие быстрого износа уплотнений вибробункеров.

С 1988 г. на линии ЦНИИЭП жилища совместно с финской фирмой «Парма» производят модернизацию оборудова-

ния. При этом предусмотрено упрощение схемы соединения щитов вследствие исключения поотсечных замков и замены их упорами, запирающими пакет со стороны поста формования. Со стороны заформованных отсеков пакета его раскрытие предотвращается установкой наклонной опоры (пандуса) для щитов кассетных форм и упоров на посту формования.

Наличие большого пакета щитов характерно и для других разрабатываемых и осваиваемых линий на Каменско-Уральском заводе КПД, Таллинском, Иркутском и Ярославском ДСК и др. Поэтому результаты экспериментов на линии с подвижными щитами можно использовать при разработке и доводке оборудования таких линий.

Ранее выполненными исследованиями установлено, что нагрузки, возникающие в отсеках при формовании, необходимо подсчитывать из условия гидростатического давления бетонной смеси на щиты с учетом неравномерности прохождение формы и коэффициента динамичности, определяющего вибрационные воздействия. Однако, в отсеках, ранее заполненных бетонной смесью, возникают дополнительные нагрузки при формовании последующих форм. Для установления этих нагрузок и распределения их по пакету щитов провели производственные испытания на экспериментальной установке с подвиж-

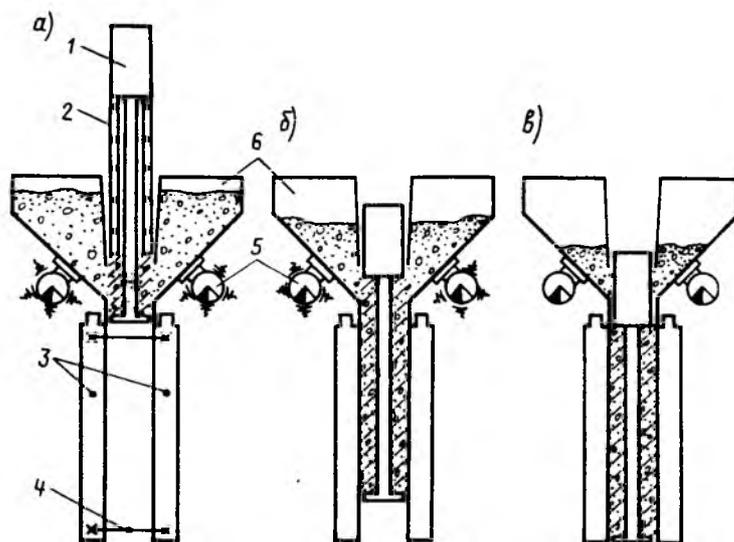


Рис. 1. Этапы формования изделий методом подвижных щитов  
а — форма в верхнем положении; б — промежуточное положение формы; в — в нижнем положении  
1 — пробка; 2 — форма; 3 — щиты; 4 — связи; 5 — вибраторы; 6 — вибробункеры

ными щитами при формировании панелей внутренних стен размером 5000×2550×140 мм. Нагрузки в отсеках определяли измерением усилий в замках щитов методом тензометрирования с помощью датчиков сопротивления и регистрировали осциллографом.

Для экспериментов подготовили 16 контрольных замков с наклеенными на них датчиками сопротивления. Замки устанавливали в четырех последовательно расположенных формовочных отсеках по два по торцам в верхнем и нижнем уровне. Усилия фиксировали по мере заполнения отсеков бетонной смесью, сначала в замках первой формы, затем — первой и второй, далее для трех форм одновременно, затем для четырех форм. Во всех случаях формовочный процесс записывали полностью, кроме того замеряли нагрузки по этапам опускания формы через каждые 500 мм. На рис. 2,3 представлены экспериментальные зависимости суммарных усилий в верхних и нижних замках формируемого отсека в процессе заполнения его бетоном. Здесь же показаны расчетные зависимости для условий гидростатического давления бетонной смеси.

Сравнение расчетных зависимостей с экспериментальными выявило разброс фактических усилий, однако в целом нагрузки, полученные экспериментально, не превышали расчетные в экстремальных точках.

Характер нагружения замков заполняемой бетоном формы в большинстве случаев соответствовал расчетному — для верхних замков характерно наличие максимума нагрузки на уровне 2 м, для нижних — сжимающие нагрузки в начале формирования с резким переходом к растягивающим усилиям после опускания формы на 1 м. В замках ранее заполненных форм выявлено существенное (в 1,5...2 раза) увеличение усилий в замках.

Наибольший рост усилий в замках наблюдался при формировании соседнего с ранее заформованным отсеком (вторая формовка), третья формовка на замки первой формы влияла слабо, четвертая практически не изменила усилия. В таблице даны суммарные усилия в верхних и нижних замках щитов при формировании соседних отсеков.

Полученные результаты подтверждены практикой эксплуатации экспериментальной линии с подвижными щитами, где неоднократно происходили разрывы нижних замков при формировании соседней формы.

В основу расчетной схемы, отражающей это явление, положено воздействие на замки упругих деформаций щитов от давления бетонной смеси. Дав-

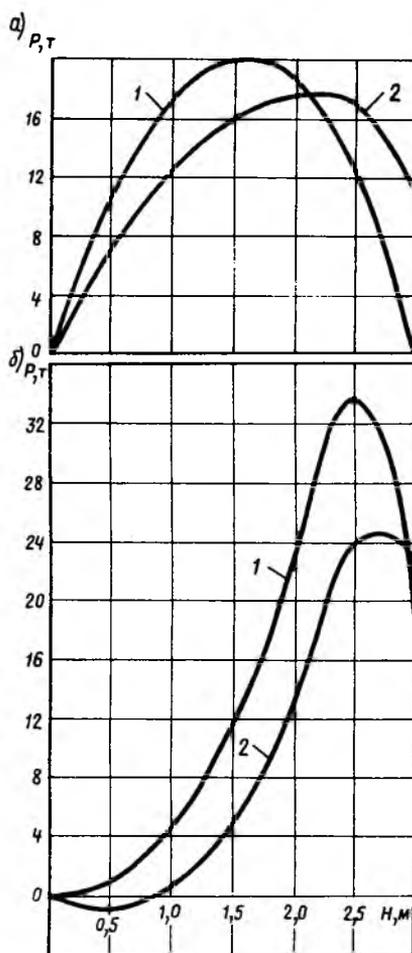


Рис. 2. Зависимость усилий в связях щитов  $P$  от уровня заполнения формы  $H$   
а — верхние связи; б — нижние  
1 — расчетная; 2 — экспериментальная

ление вызывает прогиб щита и растягивающие нагрузки в замках. Среднее значение измеренного на уровне равнодействующей от гидростатического давления прогиба, по результатам 12 измерений составило 9 мм. При формировании соседнего отсека на промежуточный щит снова воздействует давление бетонной смеси с другой стороны, вызывая обратные полученному проги-

Суммарное усилие в замках, кН	Коэффициент передачи усилия на связи предыдущей формы
488/119	1,6/1,3
791/163	
256/48	2,0/1,3
525/61	
385/160	1,5/1,1
565/180	
247/90	1,4/1,05
353/95	
200/110	1,5/1,6
310/180	
360/170	1,4/1,03
510/176	
230/130	1,8/1,2
430/160	
250/120	1,9/1,1
480/180	

Примечания. 1. Над чертой и под чертой — последовательность формирования. 2. Перед чертой — нижние замки, после черты — верхние.

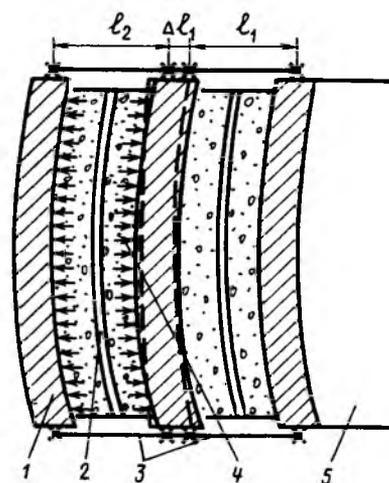


Рис. 3. Схема нагрузок и деформаций в пакете щитов  
1 — щит; 2 — форма; 3 — связи; 4 — отформованное изделие; 5 — пакет щитов  
 $l_1$ ,  $l_2$  — длина связей щитов;  $\Delta l_1$  — деформация связи  $l_1$  вследствие обратного выгиба промежуточного щита

бу деформации этого щита, как-бы выгибая его. Это вызывает смещение торцевых плоскостей щита, на которых расположены замки (см. рис. 3), что приводит к появлению дополнительных растягивающих напряжений. Поэтому при расчете замков, соединяющих щиты, а также каких-либо других запирающих устройств, эти дополнительные воздействия необходимо учитывать. Особое значение учет этого фактора приобретает при использовании пандуса в качестве связующей системы, поскольку в этом случае связи между щитами отсутствуют и недоучет нагрузок может привести к раскрытию ранее заформованных отсеков.

## Выводы

Результаты измерения нагрузок в щитах вертикальных форм, выполненные в производственных условиях, подтвердили правильность использования гидростатического закона распределения давления вибрируемой бетонной смеси в кассетных отсеках.

При последовательном заполнении пакета форм бетонной смесью в каждом соседнем с формовочным отсеке возникают дополнительные напряжения от обратных деформаций промежуточного щита, которые в 1,5...2 раза увеличивают первоначальную нагрузку в замках, полученную ранее при формировании данного отсека.

Максимальную нагрузку на замки щитов при формировании последующего отсека, не превышающую нагрузки от давления бетонной смеси в процессе его формирования, можно определить из условия гидростатического давления бетонной смеси. При увеличении жесткости щитов, ее можно существенно уменьшить.

УДК 692.44:725.353

Б. И. ПЕТРАКОВ, д-р техн. наук, проф., И. Н. ИСКАНДЕРОВ, канд. экон. наук, В. П. СЕЛИВАНОВ, канд. техн. наук, А. С. НИКИТИН, инж.

## Возведение тонкостенного монолитного купола с помощью пневмоопалубки

В нашей стране впервые возведен монолитный железобетонный купол диаметром 21 м при помощи пневмоопалубки.

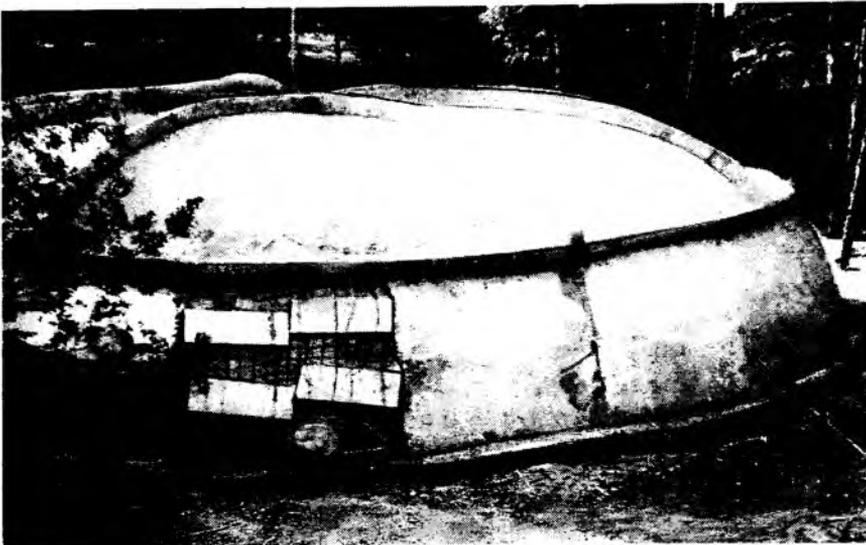
Купольная пневмоопалубка ОП-21 диаметром 21 м спроектирована и изготовлена ПО Узбекрезинотехника из прорезиненной ткани. Масса пневмоопалубки — 1400 кг, стоимость — 30,1 тыс. р., расчетная оборачиваемость — 40 раз.

Пневмоопалубка наряду с основной формообразующей оболочкой включает гибкие тканевые лепестки, защитное теплоизоляционное полотнище и комплект воздуховодов.

В конструктивном отношении покрытие сооружения представляет собой тонкостенную монолитную железобетонную многогранную купольную оболочку толщиной 45 мм.

Фундаменты кольцевые, непрерывные, монолитные сечением  $900 \times 450$  мм из бетона класса В15 по бетонной подготовке толщиной 100 мм из бетона класса В3,5. Для крепления пневмоопалубки в фундаменте предусмотрен канал сечением  $280 \times 250$  мм и установлены анкеры  $\varnothing 20...22$  А-I из расчета два анкера на каждую грань купольной пневмоопалубки.

Купол диаметром 21 м



Для купольной оболочки использовали мелкозернистый бетон класса В15. Высота в центре оболочки 6,1 м.

Купольную оболочку армировали готовыми панелями-лепестками, аналогичными по размерам граням горизонтальной развертки купольной оболочки. В качестве рабочей арматуры служила сварная сетка № 100/100/4/4 их холодноотянутой арматурной проволоки Вр-I по ГОСТ 23279—85. У основания купольной оболочки для восприятия опорных изгибающих моментов дополнительно укладывали сварную сетку № 100/100/4/4 на высоту 3,3 м. Сварные сетки отделяли друг от друга арматурными стержнями  $\varnothing 8$  А-I, уложенными в кольцевом направлении с шагом 300 мм. Для фиксации рабочей арматуры и образования нижнего защитного слоя бетона снизу помещали плетеную сетку № 45-2,5-0. С целью исключения сползания бетонной смеси на вертикальных участках при изгибе граней купольной оболочки во время подъема на пневмоопалубке сверху укладывали тканую сетку № 10-1,0 Н. В центре купольной оболочки для пропуска напорного воздуха и установки зенитного фонаря предусмотрен проем размером  $1400 \times 1400$  мм, обрамленный стальным уголком

ком  $\angle 63 \times 4$  и усиленный дополнительной сварной сеткой № 100/100/4/4 размером  $3 \times 3$  м. Для образования световых проемов в арматурных панелях-лепестках оставлены отверстия размером  $1 \times 1$  м, окантованные стальным уголком  $\angle 45 \times 3$ .

Для бетонирования купольной оболочки применяли мелкозернистую бетонную смесь состава  $M_c : M_s = 1 : 2,5$  при  $M_w / M_c = 0,42$ .

С целью замедления начала схватывания цемента вводили кремнийорганическую добавку 136—41 в количестве 0,15 % массы цемента. В качестве вяжущего применяли портландцемент Пикалевского завода активностью 27 МПа с содержанием 8,9 %  $C_3A$ . Мелким наполнителем являлся песок с  $M_k = 2,6...2,8$ , включавший до 1,5 % глинистых, пылевидных и илистых частиц,  $O. K. = 2...4$  см.

С целью повышения надежности подъема и обеспечения жесткости купольной оболочки в начальный период заранее забетонировали и довели до прочности 10 МПа центральный участок диаметром 3 м и нижнюю часть элементов купольной оболочки на высоту 1,4 м, которые были снабжены закладными деталями по продольным граням.

Мелкозернистую бетонную смесь приготавливали централизованно на бетонном заводе и транспортировали на объект автосамосвалами. Бетонная смесь поступала в конструкцию в бункерах вместимостью  $0,8 \text{ м}^3$  по ненадутой пневмоопалубке с помощью автомобильных кранов КС-4571. Смесь уплотняли виброрейками с вибраторами ИВ—35 по извлекаемому в дальнейшем направляющим из  $\varnothing 10$  А-I.

Основную часть купола бетонировали 3 ч. 45 мин. Для контроля качества бетонной смеси изготовили три серии образцов-кубов с ребром 100 мм.

Пневмоопалубку для подъема армированной бетонной смеси в проектное положение надували тремя вентиляторами ВВД-5, смонтированными на мобильной установке. Подъем занял 35 мин.

После подъема пневмоопалубки в проектное положение и стабилизации в ней давления, бетонировали нижнее опорное кольцо, приваривали закладные детали на нижних участках граней купольной оболочки и замоноличивали стыки между ними и гранями купола. Затем твердеющий бетон выдерживали на надутой пневмоопалубке при поддержании в ней постоянного избыточного давления 2,25 КПа, прогревая теплым воздухом от двух теплогенераторов ТГ-1, смонтированных на мобильной установке. Теплый воздух (температура на входе  $40^\circ\text{C}$ ) поступал под защитное теплоизоляционное полотнище. По по-

УДК 693.554.6:621.791

И. С. ШАПИРО, канд. техн. наук (НИИЖБ); З. А. СИДЛИН, канд. техн. наук (Московский опытный сварочный завод); Г. А. КУЛИКОВ, инж. (Хорошевский завод ЖБИ ДСК-1 Главмосстроя)

## Повышение эффективности использования электродов контактных машин

Строительная индустрия является крупным потребителем металлопроката из меди и ее сплавов, используемого для изготовления электродов машин для контактной сварки арматуры. Дефицит бронзы марок БрХ, БрХЦр 0,6—0,05, БрНБТ вынуждает предприятия использовать для изготовления электродов, как правило, техническую медь, обладающую более низкими технико-экономическими показателями в качестве электродного материала. Это приводит к увеличению потребления проката из меди для изготовления электродов, а также к повышению затрат на и изготовление. Для крупных арматурных цехов годовой объем потребления медных электродов составляет 3...4 тыс. штук, и на их изготовление расходуется несколько тонн меди. Повышение стойкости электродов актуально для всех предприятий стройиндустрии.

При принятой в настоящее время схеме эксплуатации и ремонта ресурс электрода для контактной сварки арматурных изделий  $P$  определяется как

$$P = T_{ц} n,$$

где  $T_{ц}$  — продолжительность в сменах одного цикла эксплуатации электрода до его ремонта;

$n$  — число возможных ремонтов электрода путем механического снятия слоя металла на величину, равную глубине износа.

Численные значения  $T_{ц}$  и  $n$  определяются типом свариваемой арматуры. При использовании на Хорошевском заводе ЖБИ медных электродов для сварки легких сеток  $T_{ц} = 2$  смены,  $n = 15$ ; при сварке тяжелых сеток и закладных изделий  $T_{ц} = 0,5$  смены, а  $n = 10$ .

Суммарная масса заготовок  $G_m$ , определяющая годовую потребность в металлопрокате  $G_m$ , необходимом для изготовления электродов для единицы сварочного оборудования, можно выразить как

$$G_m \approx \sum G_s = \frac{\Delta g P + \sum G_{2n}}{P} N K_{с.к.} \quad (1)$$

где  $N$  — число смен эксплуатации сварочного оборудования в году;

$K_{с.к.}$  — число сменного комплекта электродов на данную единицу оборудования, причем  $K_{с.к.} \geq 2$  и является четным числом;

$\sum G_n$  — суммарные потери металлопроката, определяемые потерями при изготовлении электрода  $G_{1n}$  и потерями массы электрода  $G_s$  в виде огарка  $G_{2n}$ , остающегося после выработки ресурса эксплуатации

$$\sum G_n = G_{1n} + G_{2n}.$$

В свою очередь

$$G_s = G_3 + G_{1n}, \text{ а } G_3 = \Delta g P + G_{2n},$$

где  $\Delta g$  — среднее значение потерь массы электрода с учетом перезаточек, отнесенное к одной смене.

При существующей схеме эксплуатации электродов безвозвратные потери металлопроката составляют  $G_{1n} \approx 0,2G_3$ , а  $G_{2n} \approx 0,35G_3$ , т. е. полезно используемая масса заготовки не превышает 45 % ее начального значения.

Анализ составляющих зависимости (1) показывает, что снизить расход металлопроката можно путем повышения износостойкости электродов с целью увеличения длительности межремонтно цикла  $T_{ц}$  и ресурса эксплуатации электрода  $P$ , а также уменьшения потерь электрода при изготовлении и эксплуатации.

При этом повышение длительности  $T_{ц}$  в результате использования в качестве электродных материалов бронзы повышенной износостойкости [1,2] не реально из-за ее дефицита. Кроме того, при использовании бронзы нельзя удовлетворительно выполнить ремонт электрода путем механического снятия слоев металла, превышающих по массе потери, обусловленные сваркой.

Для решения поставленной задачи силами предприятий стройиндустрии был создан принципиально новый способ восстановления и ремонта электродов для контактной сварки с помощью существующей сварочной технологии. Предпринятые ранее отдельные попытки [3] не получили промышленного освоения из-за сложности реализации и ограниченных технологических воз-

верхности купольной оболочки он распределялся равномерно при помощи системы магистральных и распределительных воздухопроводов. В результате этих мероприятий время выдерживания на надутой пневмоопалубке удалось сократить до 72 ч при средней температуре наружного воздуха около 8 °С. Прочность бетона в возрасте 3 сут — 12 МПа.

При выпуске воздуха из пневмоопалубки на высоте 3...3,5 м от уровня основания и ниже в стыках граней купольной оболочки появились трещины вследствие возникновения больших кольцевых растягивающих усилий. Основная причина их образования заключалась в отклонении фактической геометрической формы купола от расчетной из-за больших размеров предварительно забетонированного и отвержденного центрального участка и наличия плоской поверхности. После прекращения поступления воздуха купольную оболочку усилили монолитным железобетонным ребром сечением 150×300 мм в кольцевом направлении на высоте 3,5 м от уровня фундаментов и четырьмя меридиональными ребрами с сечением 120×300 мм выше этого кольца.

Ребра забетонировали в проектном положении с использованием стальной разборно-переставной опалубки. Бетонную смесь в конструкцию подавали в бункерах автомобильным краном КС-4571. Смесь уплотняли глубинным вибратором ИВ-35. На устройстве ребер израсходовали 4,5 м<sup>3</sup> мелкозернистого бетона и 500 кг арматуры Ø 12 А-II. Бетон в ребрах прогревали греющими изолированными проводами со стальной жилой длиной 12...14 м, Ø 1 мм. Напряжение 50 В подавали от двух сварочных трансформаторов.

Показатели	Италия	США	Предлагаемый способ
Трудоёмкость возведения на 1 м <sup>2</sup> рабочей площади пола, чел.·ч	0,35	6,40	1,26
Расход бетона на 1 м <sup>2</sup> рабочей площади пола, м <sup>3</sup>	0,14	0,15	0,08
то же стали, кг	9,00	6,00	6,30

Тонкостенный монолитный железобетонный купол (см. рисунок) имеет технико-экономические показатели: площадь пола — 346 м<sup>2</sup>, сметная стоимость купольной оболочки — 8,2 тыс. р., трудозатраты на 1 м<sup>2</sup> площади пола — 1,26 чел.-дн., расход бетона на 1 м<sup>2</sup> площади пола — 0,08 м<sup>3</sup>, стали — 6,3 кг.

Преимущества предложенного способа возведения монолитных железобетонных куполов по сравнению с другими методами\* видны из таблицы.

\* Петраков Б. И. Возведение конструкций с помощью пневмоопалубки в районах Севера. — Л.: Стройиздат. — 1984

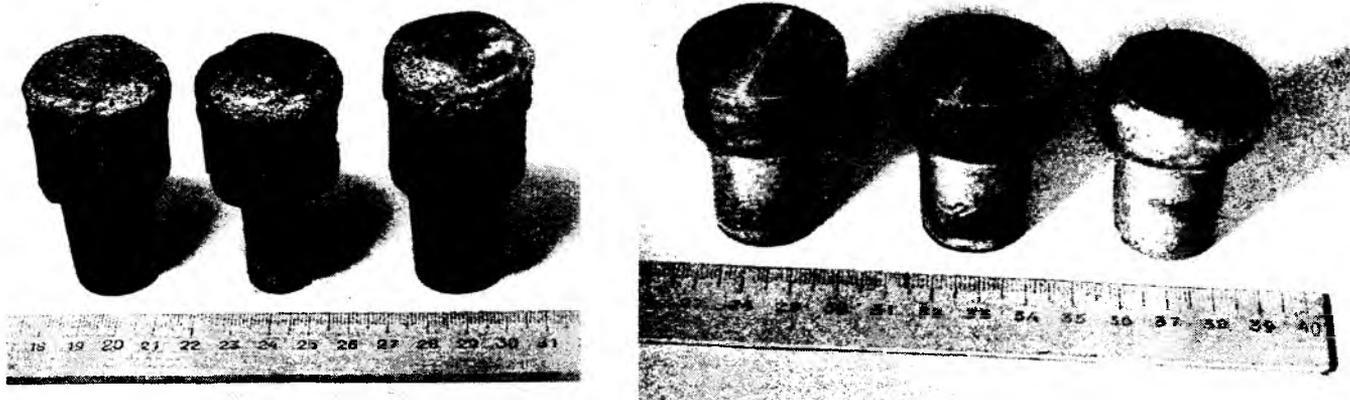


Рис. 1. Электроды для контактной сварки после наплавки слоя металла на медную заготовку (а) и после механической обработки (б)

возможностей предлагаемых решений. Наиболее оптимальным является использование штучных электродов со специальной обмазкой.

Появление новых электродных материалов для ручной дуговой сварки, обеспечивающих состав наплавленного металла, идентичный составу специальной бронзы, применяемой в качестве электродных материалов, потребовало разработки технологического процесса наплавки на заготовки электродов для контактной сварки слоя металла высотой до 12...15 мм (рис. 1), а также последующей сварки изношенных электродов. Простота и возможность реализации данного технологического процесса выгодно отличают его от всех известных решений. Ограничение механической обработки при изготовлении электродов снятием избыточного слоя наплавленного металла, а при их ремонте — снятием усиления сварного шва обеспечивает постоянство массы электрода при его эксплуатации, что стабилизирует свойства сварных соединений арматуры.

Медные заготовки для электродов контактной сварки можно изготавливать из менее дефицитного и более дешевого металлопроката, составляющего 60...75 % биметаллического электрода по массе. Благодаря наплавке их износостойкость находится на уровне, соответствующем бронзе, а по ресурсу эксплуатации даже превышает ее возможности в результате многократного восстановления.

Эксплуатационные характеристики восстановленных (наплавленных) электродов определяли в производственных условиях при сварке закладных изделий нахлесточным соединением на машине МТП-200, при сварке тяжелых сеток — на машине МТП-150, а легких сеток — на многоэлектродной машине типа МТМК 3×100. При сварке тяжелых сеток и закладных изделий длительность межремонтного цикла воз-

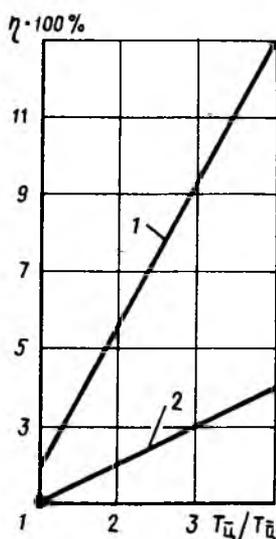


Рис. 2. Зависимость эксплуатационной долговечности электрода от относительной эффективности использования металла при сварке легких сеток  
● — электрод из меди;  
1 — из меди с последующей наплавкой и восстановлением;  
2 — из бронзы.

росла до 1...1,5 смен, т. е. в 2...3 раза, а при сварке легких сеток до 13...15 смен, т. е. в 6,5...7,5 раз.

Повышение длительности межремонтного цикла и возможность нетрудоемкого многократного ремонта электродов для контактной сварки позволяют снизить расход металлопроката. Экономия меди, приходящаяся на единицу массы расходуемых штучных электродов, возрастает с увеличением длительности межремонтного цикла для наплавленного металла. Так, за счет применения 1 кг специальных штучных электродов для восстановления электродов контактной сварки экономия меди составляет не менее 6...8 кг в результате повышения полезно используемой для сварки массы электрода и отношения ее к потребной для изготовления электрода массе заготовки.

Следует отметить, что возрастание межремонтного цикла при использова-

нии предложенных электродов для контактной сварки уменьшает непроизводительные затраты при эксплуатации сварочного оборудования на перестановку и замену электродов, что повышает производительность сварочного оборудования. В некоторых случаях снижается металлоемкость электродов для контактной сварки.

Приведенные на рис. 2 зависимости характеризуют относительную эффективность использования металлопроката в зависимости от кратности (по отношению к меди) повышения эксплуатационной долговечности электродов. За относительную эффективность принято отношение

$$\eta = \frac{G'_M - \sum G'_n}{G''_M - \sum G''_n} 100,$$

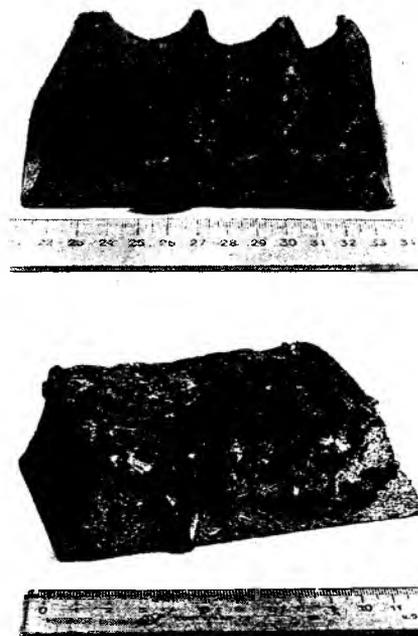


Рис. 3. Токопроводящие губки к машине для стыковой сварки МС-2008 после полного износа (а) и восстановления дуговой наплавкой (б)

где  $G'_m$  и  $\Sigma G'_n$  — масса металлопроката и суммарные его потери при использовании электродов, имеющих более высокую износостойкость по сравнению с медными;  $G''_m$  и  $\Sigma G''_n$  — аналогичные значения для медных электродов.

Соответственно кратность повышения эксплуатационной долговечности электрода для контактной сварки оценивали как отношение  $T'_c/T''_c$ .

Значения  $G'_m$  и  $\Sigma G'_n$  рассчитывали для двух вариантов изготовления и выполнения ремонта электродов: из заготовки однородного химического состава, изношенный слой которой снимали путем механической обработки; из технической меди с предварительной наплавкой рабочего слоя и последующим восстановлением изношенных участков специальными штучными электродами. В последнем случае значение  $G'_m$  учитывало массу наплавленного металла.

Как видно из рис. 2, чем выше износостойкость электрода, тем эффективнее использование металлопроката. Причем при одинаковом значении  $T'_c$  для предложенной схемы изготовления и ремонта электродов величина  $\eta$  всегда превышает соответствующий показатель, характеризующий электроды однородного состава. Чем выше значение  $T'_c$ , тем больше  $\eta$ .

Трудозатраты на ручную дуговую сварку незначительно возрастают по сравнению с трудозатратами на применяемое ранее механическую обработку. Однако обеспечиваемое при этом увеличение оборачиваемости электродов и снижение расхода металлопроката определяют более низкую технико-экономическую эффективность.

Предложенный способ можно также использовать и для восстановления изношенных губок машин для стыковой сварки (рис. 3).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слюозберг С. К., Чулошников П. Л. Электроды для контактной сварки. — Л.: Машиностроение, 1972. — 95 с.
2. Слюозберг С. К., Михайлова Э. М., Гинзбург С. К. Выбор сплава для электродов точечных машин для сварки низкоуглеродистых сталей // Автоматическая сварка. — 1971. — № 3. — С. 59—61.
3. Восстановление электродов для контактной сварки наплавкой трением / Я. М. Кершенбаум, Б. А. Авербух, Н. Г. Людмирская и др. // Сварочное производство. — 1968. — № 5. — С. 28—30.

## В помощь проектировщику

УДК 624.072.2/3

Г. К. ХАЙДУКОВ, д-р техн. наук, проф., И. В. ВОЛКОВ, канд. техн. наук (НИИЖБ); М. М. ЛАЧИНОВ, канд. техн. наук (ВИПКЭнерго)

### Работа стеклофибробетонных тонкостенных элементов при длительном действии нагрузки

В НИИЖБе изучили работу изгибаемых стеклофибробетонных складчатых элементов при длительном действии нагрузки. Ранее исследовали физико-механические свойства композита и работу стеклофибробетонных изгибаемых тонкостенных элементов при кратковременном нагружении [1]. Для получения сопоставимых результатов при длительном и кратковременном нагружении использовали аналогичные образцы по конструкции, размерами и такие же материалы. Опытные элементы и контрольные образцы изготавливали из мелкозернистого бетона класса В30 группы Б на портландцементе и армировали фиброй из щелочестойкого стекловолокна марки Ш-15ЖТ с диаметром моноволокна 12...16 мкм. Прочность стекловолокна на разрыв  $R_f=1600$  МПа. Объемное содержание стеклофибры приняли равным 2 и 2,8 % как наиболее оптимальное. Образцы изготавливали из стеклофибробетонной смеси по специальной виброшпектовой технологии АрмНИИСА и виброуплотнением с пригрузом. После укладки стеклофибробетонной смеси на листогибочный поддон, складчатые элементы образовывали методом погиба свежестотформованного листа.

При этом исследовали складчатые элементы со стеклофировым и с комбинированным армированием проволочной арматурой  $\varnothing 4$  В-1.

Долговечность стеклофибробетона и изменение его физико-механических свойств во времени исследовали по специальной методике [2]. В качестве контрольных образцов, моделирующих прочностные и деформативные свойства стеклофибробетона в тонкостенных конструкциях, приняли плитки размерами  $90 \times 400$  и  $45 \times 400$  мм, толщиной 10...12 мм, испытанные на осевое растяжение и изгиб. Толщина плиток близка к толщине стенок складчатых элементов. На сжатие испытали полые призмы, склеенные из плиток такой же толщины размером  $90 \times 400$  мм.

Складчатые элементы нагружали в

третьих пролета двумя равными сосредоточенными силами в пружинных установках [3]. В результате исследований выявлено существенное влияние относительной влажности среды на изменение во времени прочности и деформативности стеклофибробетона, что необходимо учитывать при назначении нормативных характеристик композита на растяжение. Прочность стеклофибробетона на растяжение снижается наиболее интенсивно в первые 1,5 г. после изготовления образцов и в возрасте 2 г. практически стабилизируется. Наиболее заметное снижение прочности стеклофибробетона на растяжение уменьшается при хранении образцов в условиях высокой влажности окружающей среды ( $W=96...98\%$ ) при  $t=20...22^\circ\text{C}$  или в воде.

В этом случае после некоторого увеличения сопротивления стеклофибробетона на растяжение в первые 2 мес пребывания во влажных условиях в дальнейшем наблюдалось ее резкое снижение. Через 270 сут прочность композиционного материала на растяжение составила 0,75...0,8 предельного сопротивления в возрасте 28 сут. Это явление объясняется механическими повреждениями стекловолокон, возникающими при приготовлении стеклофибробетонной смеси, а также вследствие истрающего воздействия на них частиц цементного клинкера и песка.

Влияние относительной влажности окружающей среды на снижение прочности стеклофибробетона на растяжение при длительном действии нагрузки следует учитывать введением коэффициента  $\gamma_{fb}$ .

При объемном содержании фибры  $\mu_{fv}=3\%$   $\gamma_{fb_1}=0,9$  ( $W \leq 80\%$ ),  $0,75$  ( $W > 80\%$ ) и  $0,7$  при хранении в воде. При тех же условиях хранения стеклофибробетона с  $\mu_{fv}=1,5\%$   $\gamma_{fb_1}=1; 0,8; 0,75$ . При промежуточном значении  $\mu_{fv}$   $\gamma_{fb_1}$  принимают по интерполяции. При хранении стеклофибробетона на открытом воздухе  $\gamma_{fb_1}=0,8$ . Следует отметить, что

при изготовлении стеклофибробетонных элементов с ускорением твердения термообработкой при  $t > 60^\circ\text{C}$  по нашим исследованиям отмечается дополнительное снижение прочности стекловолокна Ш-15ЖТ на 10...20%. В этом случае надо применять стеклофибру из стекловолокна марки СЦ-6, которая не уменьшает прочность при паропрогреве стеклофибробетонных образцов при  $t = 80^\circ\text{C}$ .

Кратковременные и длительные исследования стеклофибробетонных складчатых элементов показали различное их поведение после образования трещин. Тонкостенные складки с объемным содержанием стеклофибры больше критического ( $\mu_{fv} > 1,5\%$ ) после достижения нагрузки трещинообразования (появление микротрещин)  $P_{erc}$  продолжают нести нагрузку, разрушающее значение которой в 1,5...2,5 раза больше  $P_{erc}$ . При этом относительные деформации в растянутой зоне при  $P_{erc}$  равны предельной растяжимости бетона  $\epsilon_{erc} = (10...15) \cdot 10^{-5}$ , а к моменту разрушения образцов предельные деформации обычно в 1,5...2,5 раза больше предельной растяжимости бетона и составляют  $(25...30) \cdot 10^{-5}$ .

Образцы с объемным содержанием стеклофибры 2,8% после образования первых трещин с шириной раскрытия 5...10 мкм при длительном действии нагрузки разрушились через 30...60, а при  $\mu_{fv} = 2\%$  — через 7...15 сут (рис. 1).

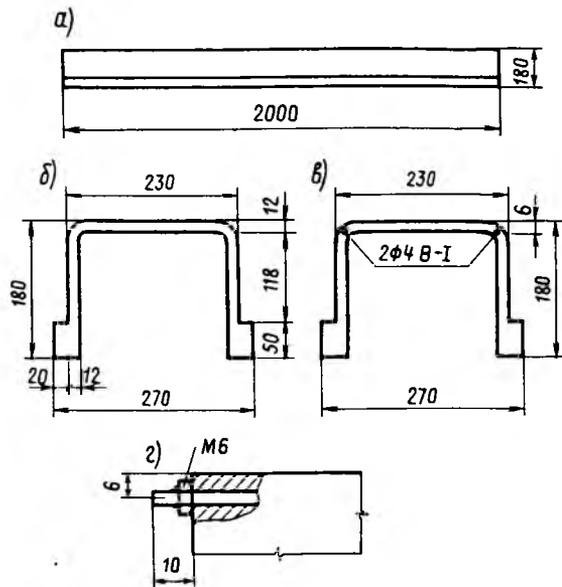


Рис. 1. Габариты образца (а), форма поперечного сечения элементов, армированных стекловолокном (б) и с комбинированным армированием (в), деталь анкерования проволоочной арматуры (г)

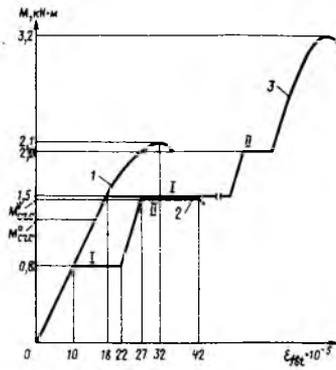


Рис. 2. Экспериментальные зависимости «изгибающий момент в зоне «чистого» изгиба — относительные деформации стеклофибробетона на уровне крайнего растянутого волокна элемента» 1 — кратковременные испытания, 2 — длительные испытания элементов из стеклофибробетона с объемным содержанием стекловолокна 2,8% на этапах нагружения I, II; 3 — то же с комбинированным армированием проволоочной арматурой

Вследствие развития деформаций ползучести средние относительные деформации стеклофибробетона в момент разрушения на уровне крайнего растянутого волокна оказались в 1,3...1,4 раза больше, чем при кратковременном действии нагрузки, —  $(40...45) \cdot 10^{-5}$  (рис. 2).

В элементах с комбинированным армированием при длительном действии нагрузки в те же сроки происходило слияние мелких трещин и в течение 10...15 мин появлялись дополнительные трещины в растянутой зоне (см. рис. 2). При этом наблюдалось интенсивное выключение из работы стекло-

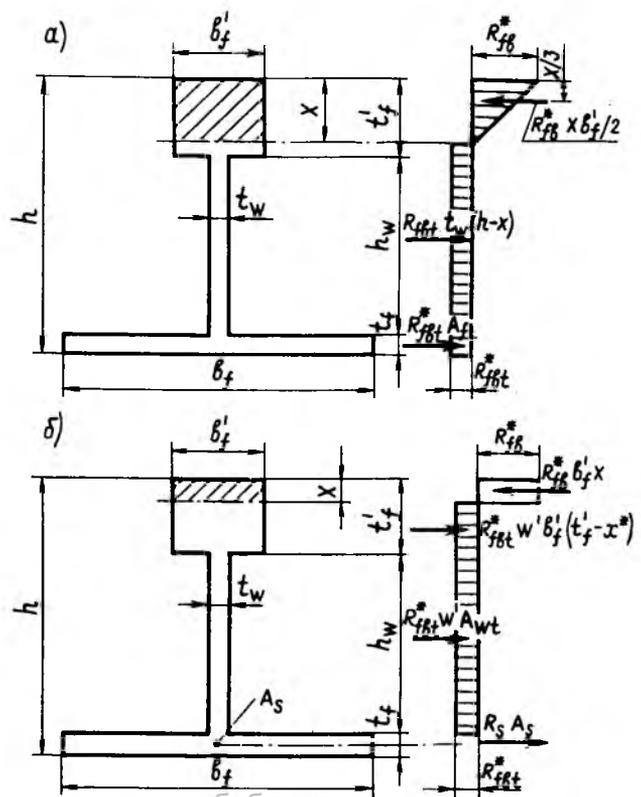
фибры в сечении с трещиной, что увеличивало раскрытие трещины с  $(0,005...0,01)$  до 0,2 мм. Однако элемент не разрушился, поскольку усилие воспринимала проволоочная арматура. В стадии разрушения элемента фибровая арматура в нижней части сечения с трещиной полностью выключалась, а несущую способность элемента обеспечивала стальная арматура.

Для расчета по прочности нормальных сечений изгибаемых элементов из стеклофибробетона расчетное сопротивление стеклофибробетона на растяжение при длительном действии нагрузки  $R^*_j$  следует определять по формуле, аналогичной ранее предложенной в источнике [1] для кратковременных испытаний

$$R^*_{jbl} = \mu_{fv} m R^*_j \eta_\theta \eta_l \quad (1)$$

где  $R^*_j$  — условный предел текучести при разрыве моноволокна при длительном действии нагрузки:  $R^*_j = 0,7 \gamma_{bl} R_j$ ;  $\mu_{fv}$  — коэффициент фибрового армирования по объему;  $m$  — коэффициент, учитывающий влияние прочности матрицы на прочность композита [1];  $\eta_\theta$  — коэффициент, учитывающий ориентацию волокон;  $\eta_l = 0,3...0,375$  в зависимости от размеров сечения элемента;  $\eta_l$  — коэффициент, учитывающий влияние длины волокон;  $\varphi$  — коэффициент, учитывающий влияние агрегатного состояния армирующего стекловолокна:  $\varphi = 0,9$ ;  $m, \eta_\theta, \eta_l$  при дли-

Рис. 3. Приведенное поперечное сечение, эпюры напряжений и расчетные схемы усилий складчатых изгибаемых элементов, армированных стекловолокном (а) и с комбинированным армированием (б) при расчете на прочность по нормальным сечениям



тельном действии нагрузки, в соответствии с полученными экспериментальными данными, допускается принимать такими же, как и при кратковременном действии нагрузки [1].

Складчатые изгибаемые элементы стеклофибробетонных конструкций по прочности сечений, нормальных к продольной оси, при длительном действии нагрузки рекомендуется рассчитывать по СНиП 2.03—85, приводя складчатое сечение к двутавровому. Однако анализ использования различных расчетных схем внутренних усилий в нормальных сечениях показал, что при длительном действии нагрузки расчетная схема с прямоугольной эпюрой напряжений в сжатой зоне дает существенное (на 15...25 %) расхождение с экспериментом даже при введении коэффициента полноты эпюры  $\omega$ . Поэтому, при длительном действии нагрузки рекомендуется эпюру напряжений в сжатой зоне нормального сечения принимать треугольной, что наиболее хорошо приближает ее к реальному распределению напряжений в рассматриваемом сечении (рис. 3).

Если нейтральная ось проходит в полке сечения, высота сжатой зоны

$$R_{jb} \frac{b_j x}{2} = R_{ibt}^* (b_i^* - t_{\Delta}) (l_i^* - x) \omega + R_{ibt}^* t_{\Delta} (h - x) \omega + R_{ibt}^* A_{it}, \quad (2)$$

а расчет прочности нормального сечения стеклофибробетонного изгибаемого элемента при длительном загрузении производят по формуле

$$M \leq R_{ibt}^* A_{it} (h - \frac{x}{3} - a_{it}) + R_{ibt}^* \omega \left( \frac{h-x}{2} \right) (h-x), \quad (3)$$

где  $M$  — изгибающий момент от внешней нагрузки в расчетном сечении элемента;  $R_{jb}$  — длительное сопротивление стеклофибробетона на сжатие;  $A_{it}$  — растянутая площадь сечения полки;

$$\omega = 0,5 + 2,5 \frac{R_{ibt}^*}{R_{jb}}$$

Случай когда нейтральная ось проходит в стенке двутаврового сечения стеклофибробетонного элемента встречается редко, но для его расчета также следует принимать треугольную эпюру распределения сжимающих напряжений.

Прочность нормальных сечений изгибаемых элементов с комбинированным армированием стержневой арматурой на длительное действие нагрузки рекомендуется определять, принимая расчетную схему с прямоугольными эпюрами напряжений в сжатой и растянутой зонах по СНиП 2.03.03-85 (см. рис. 3). При этом сопротивление стеклофибробетона растяжению в растянутой полке

сечения равно 0, а в растянутой зоне стенки сечения — по формуле (1). Предельные напряжения в сжатой зоне следует принимать равными призматической прочности бетона матрицы.

Анализом экспериментальных данных установлено, что изгибаемые элементы из стеклофибробетона по деформациям при длительном действии нагрузки и работе без трещин рекомендуется рассчитывать по формуле (64) СНиП 2.03.03-85. При этом кривизну от постоянных и длительных временных нагрузок предлагается подсчитывать по формуле

$$\varphi_2 = \frac{M^* \varphi}{B_{f1}}, \quad (4)$$

где  $M^*$  — моменты от соответствующей нагрузки в расчетном сечении относительно оси, нормальной к плоскости действия момента и проходящей через центр приведенного сечения;  $\varphi$  — коэффициент, учитывающий влияние при длительном действии нагрузки ползучести в сжатой зоне:  $\varphi = \delta \cdot (2,5 + \alpha_{\mu_s})$ ;

$$\alpha = \frac{E_f}{E_b};$$

$E_f, E_b$  — модули упругости стекловолокна и бетона.

Испытания показали, что повышение содержания стеклофибры ( $\mu_s > 1,5\%$ ) вызывает интенсивный рост деформаций ползучести в сжатой зоне изгибаемых элементов и увеличивает их кривизну. Для стеклофибробетона в возрасте от 28 сут до 1 г.

$$\delta_1 = 1 - \frac{1}{3370} (\tau - 28), \quad (5)$$

где  $\tau$  — возраст, сут; при  $\tau > 1$  г.  $\delta_1 = 0,9$ .

При длительном действии нагрузки фибровое армирование эффективно сдерживало развитие деформаций ползучести стеклофибробетона в растянутой зоне изгибаемых элементов. Это учитывается при определении жесткости нормального сечения  $B_{f1}$

$$B_{f1} = \eta_f E_b I^{red} \quad (6)$$

где  $I^{red}$  — момент инерции приведенного к бетонному сечению;  $E_b$  — модуль упругости бетона-матрицы;  $\eta_f$  — коэффициент, учитывающий влияние стеклофибрового армирования на развитие деформаций ползучести стеклофибробетона в растянутой зоне сечения:  $\eta_f = 0,85 + \alpha_{\mu_s}$ .

### Выводы

В изгибаемых элементах из стеклофибробетона при длительном действии эксплуатационной нагрузки не следует допускать образования трещин. С течением времени прочность такого элемента снижается на 10...30 % в зави-

симости от относительной влажности окружающей среды. Прочность нормальных сечений элементов конструкции следует устанавливать по зависимостям (2), (3).

Сопротивление стеклофибробетона на растяжение при длительном действии нагрузки рекомендуется подсчитывать по формуле (1). При этом прочность стеклофибры при разрыве  $R_f^*$  находят по условному пределу текучести, равному 0,7 ее прочности на разрыв при кратковременном нагружении, с учетом температурно-влажностных условий.

При длительном действии нагрузки в изгибаемых элементах стеклофибробетонных конструкций с комбинированным армированием на уровне крайнего растянутого волокна в сечении с трещиной стеклофибра практически полностью выключается из работы.

Изгибаемые элементы из стеклофибробетона по деформациям при длительном действии нагрузки рассчитывают из условия их работы без трещин. Повышение объемного содержания стекловолокна  $> 1,5\%$  вызывает интенсивный рост деформаций ползучести в сжатой зоне и увеличение прогибов элемента, что учитывается в расчете коэффициентом  $\varphi$ , а в растянутой зоне — более медленное развитие деформаций ползучести, что учитывается в расчете введением  $\eta_f$ .

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хайдуков Г. К., Волков И. В., Караетян А. Х. Прочность, деформативность и трещиностойкость стеклофибробетонных элементов // Бетон и железобетон. — 1988. — № 2. — С. 35—37.
2. Лачинов М. М. Изменение прочности и трещиностойкости стеклофибробетона при изгибе во времени и различных условиях окружающей среды // Новое в технологии, расчете и проектировании железобетонных конструкций. — М.: НИИЖБ. — 1987. — С. 79—84.
3. Волков И. В., Караетян А. Х. Особенности образования и развития трещин в стеклофибробетоне // Строительные конструкции: Экспресс-информ ВНИИИС. — 1985. — Вып. 2. — С. 11—16.

К. Л. СУРОВ, д-р техн. наук, проф (ВЗИСИ); Е. К. НУРМАГАНБЕТОВ, канд. техн. наук (Алма-Атинский архитектурно-строительный ин-т)

## Определение универсальных жесткостных параметров железобетонных конструкций

Установление реальных жесткостных характеристик железобетонных конструкций с учетом влияния различных факторов имеет важное теоретическое и практическое значение.

С общетеоретических позиций можно констатировать, что критерий прочности бетона, находящегося в объемном напряженном состоянии, является переменной величиной, которая геометрически интерпретируется как некоторая поверхность тела вращения, причем на трех координатных осях откладывают главные напряжения  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ . При этом предельная поверхность прочности представляет собой функциональное соотношение между первым инвариантным тензора напряжений и вторым инвариантом девиатора напряжений

$$F(I_{T1}, I_{D2}) = 0. \quad (1)$$

Применительно к бетону [1, 2] выражение (1) интерпретируется в виде

$$\sigma_1^2 - 2(\gamma - 1)\delta_i - R_1 T_{T1} - R_2 = 0, \quad (2)$$

где  $\delta_i = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3$ ;  $\sigma_i$  — интенсивность напряжений;  $R_1, R_2$  — эмпирические коэффициенты;  $\gamma$  — обобщающий параметр: при  $\gamma = 0,5$  поверхность прочности при объемном напряженном состоянии материала представляет параболоид вращения.

Из зависимости (2) следует формула для определения предельной прочности бетона во всех восьми октантах области прочности [2]

$$\left| \sigma = kR_{b,ser} [\bar{R} (\pm 1 + \alpha + \beta) + \bar{R}^2 (\pm 1 + \alpha + \beta)^2] - \frac{0,2(\pm 1 + \alpha^2 + \beta^2 - \alpha - \beta - \alpha\beta)^{0,5}}{|\pm 1 + \alpha^2 + \beta^2 - \alpha - \beta - \alpha\beta|} \right| \quad (3)$$

где  $\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1 : \alpha : \beta$  (с учетом знаков главных напряжений);  $R = 1,3$ ;

$$k = 2^{-0,5} [(1 - \alpha_1)^2 + (1 - \alpha_2)^2 + (\alpha_1 - \alpha_2)^2]^{0,5}$$

Поскольку параметры армирования имеют тензорный характер, можно получить безразмерные приведенные параметры армирования  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  по направлениям главных напряжений вместо заданных параметров  $\mu_x, \mu_y, \mu_z$  по направлениям координатных осей

В соответствии с правилами тензорного исчисления

$$\mu_1 = \mu_x l(l + 2m) + \mu_y m(m + 2n) + \mu_z n(n + 2l), \quad (4)$$

где  $l, m, n$  — направляющие косинусы для главных площадок;  $\mu_2$  и  $\mu_3$  получают по правилу круговой подстановки с переименованием координатных осей.

При этом  $l$  определяют как параметр, зависящий от тензора напряжений  $l^{-1} = \left\{ \left[ (ab - \tau_{yz}^2)^2 + (b\tau_{xy} + \tau_{xz}\tau_{yz})^2 + (a\tau_{xz} + \tau_{xy}\tau_{yz})^2 \right]^{0,5} (ab - \tau_{yz}^2)^{-1} \right\}^{0,5}$ ;

где  $\sigma_i$  — интенсивность напряжений;  $a = \sigma_1 - \sigma_y$ ;  $b = \sigma_1 - \sigma_z$ .

Выражения для  $m, n$  аналогичны при условии переименования координатных осей;  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$  — компоненты тензора напряжений.

При установлении интегрального распределения напряжений между бетоном и арматурой с учетом трещинообразования на отдельных участках конструкции с достаточной для практики точностью можно предположить, что трещины возникают в плоскостях, нормальных к линии действия главных напряжений, если они являются растягивающими и по интенсивности превышают предел прочности бетона на растяжение.

Согласно исследований [1...3] распределение напряжений между бетоном и арматурой по направлению действия главных напряжений следует учитывать введением интегрального коэффициента  $\Psi_{sk}$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{bk} &= \sigma_k(1 + \Psi_{sk}); \\ \sigma_{sk} &= \frac{\sigma_k \Psi_{sk}}{\mu_k} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где  $k$  — порядковый номер одного из трех главных напряжений:  $1 \leq k \leq 3$ .

При этом коэффициенты  $\Psi_{sk}$  определяют согласно источнику [2] по единой формуле как до, так и после образования трещин

$$\Psi_{sk} = 1 - \alpha(1 + n_k^* \mu_k), \quad (7)$$

где  $n_k^*$  — отношение секущих моделей деформации стали и бетона:  $n_k^* = E_{sk}/E_{bk}$ .

При отсутствии трещины

$$\alpha = (1 + n_k^* \mu_k)^{-2} < 1. \quad (8)$$

При наличии трещин

$$\alpha = \frac{R_{bl,ser}^3}{\sigma_k^3} < 1. \quad (9)$$

По формулам (6)-(9) следует корректировать напряжения в бетоне для всех трех главных направлений, а затем переходить к следующему шагу итерационного процесса, т. е. скорректировать критерий прочности по формуле (3), значения направляющих косинусов для главных площадок  $l, m, n$  и коэффициенты распределения напряжений  $\Psi_{sk}$ .

Одной из наиболее удобных математических форм записи влияния нелинейности диаграммы «интенсивность напряжений — интенсивность деформаций» на жесткостной параметр является предложенная в источнике [4] для одноосного напряженного состояния и экстерполированная в модифицированном виде на объемное напряженное состояние бетона в [2]

$$\begin{aligned} S_n^0(\sigma_i, |\sigma_k|, t_0) &= \beta_0 [1 + \\ &+ \eta_m^* \left[ \frac{\sigma_i(t_0)}{|\sigma_k|} \right]^{\alpha}]; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} S_n^0(\sigma_i, |\sigma_k|, t_0) &= 1 + \\ &+ \eta_n^* \left[ \frac{\sigma_i(t_0)}{|\sigma_k|} \right]^{\beta}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $S_n^0$  — мгновенные деформации;  $S_n^0$  — то же запаздывающие;  $\eta_m, \eta_n, \alpha, \beta$  — феноменологические коэффициенты, зависящие от класса бетона;  $t_0$  — фиксированный момент времени наблюдения;  $|\sigma_k|$  — критерий прочности по формуле (3);  $\beta_0 = k_k/R_{b,ser} \geq 1$  (если  $\sigma_k < R_{b,ser}$ , то  $\beta_0 = 1$ ). Звездочки у параметров означают, что соответствующие величины берутся не для натуральных, а для условных классов бетона, соответствующих вычисленному критерию прочности.

Формула для установления дискретного значения обобщенного (интегрального) параметра деформации, т. е. уравнение механического состояния материала

№ образ-ца	Боко-вое да-вление P, МПа	Пре-дел проч-ности R, МПа	R/R <sub>0</sub>	R <sup>th</sup> , МПа	R <sup>th</sup> /R <sub>0</sub>
1	0,00	52,4	1,000	52,4	1,00
2	1,00	74,4	1,419	74,0	1,41
3	9,72	98,0	1,875	100,0	1,93
4	16,90	106,0	2,234	—	—
5	21,60	129,3	2,470	128,0	2,44
6	44,80	172,4	3,290	171,0	3,26

Примечание. R<sub>0</sub> при одноосном сжатии.

мости (10), (11) сначала упругомгно-венные напряжения, а затем уточняя эти коэффициенты итерационным пу-тем. Интенсивность действительных на-пряжений, при известных главных на-пряжениях определяют по правилам теории упругости.

Сопоставление расчетных и опытных данных по прочности бетона при трех-осном сжатии приведено в табл. 3.

**Вывод**

Представленные зависимости позво-ляют с достаточной достоверностью определять переменные необходимые для практики проектирования реальные жесткостные параметры железобетон-ной конструкции в любой расчетной точке и при любом виде напряженно-деформированного состояния.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Геннев Г. А., Киссюк В. Н., Тюнин Г. А. Теория пластичности бетона и железобетона.— М.: Стройиздат.— 1974.— 316 с.
2. Суров К. Л. Учет режима загрузки при расчетах железобетонных конструкций. // Изв. вузов. Сер. стр-во архитектура.— 1984.— № 7.— С. 14—19.
3. Карпенко Н. И. Теория деформирова-ния железобетона с трещинами.— М.: Строй-издат.— 1976.— 208 с.
4. Бондаренко В. М., Бондарен-ко С. В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона.— М.: Стройиздат.— 1982.— 288 с.
5. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия с учетом ползучести.— М.: Стройиздат.— 1966.— 443 с.
6. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести.— М.— Л.: Гостехтеориз-дат.— 1952 — 323 с.

$$E_b^*(t, t_0, \sigma_i, |\sigma_k|, \mu_k) = \{\delta_y(t, t_0) + \frac{\beta_0 S_m^0(\sigma_i, |\sigma_k|, t_0)}{E_m^0(t)} + \frac{1}{\sigma_i(m)} \sum_{n=1}^m [\sigma_i^{(n-1)} S_m^0(\xi_{n-1}) - \sigma_i^{(n)} C_n^0(\xi_n)] S^*(t_m, t_{n-1})\}^{-1}, \quad (12)$$

где  $\delta_y(t, t_0)$  — единичная деформация от усадки бетона (нормируемая величина);  $\xi_n = \sigma_i^n / |\sigma_k|$

Зависимости для мгновенного модуля деформации  $E_m^0(t)$  и деформации ползучести  $C^*(t, t_0)$  приведены в источни-ках [2, 4...6] применительно к одно-осному напряженному состоянию, но при некоторой модификации их можно использовать и при объемном напря-женном состоянии конструкций:

$$E_m^0(t) = (E_m^0 \infty) (1 - \xi e^{kt}); \quad (13)$$

$$C^*(t, t_0) = \frac{1}{E(t_0)} - \frac{1}{E(t)} + C(t, t_0); \quad (14)$$

$$C(t, t_0) = C(\infty, 28) A_0 + C_0 e^{-kvt} \times \times (1 - 0,8 e^{28(t-t_0)k}) \xi_1 \xi_2, \quad (15)$$

где  $t, t_0$  — фиксированные моменты времени, сут;  $A_0 = 0,5$ , все остальные параметры являются феноменологи-ческими (табл. 1, 2) и зависят от класса бетона кроме  $\gamma, C_0, \xi_1$ , зависящих от отношения поверхности конструкции к ее объему  $\xi_2$ , зависящего от влажности среды: при  $B \leq 40, 60, 80$  и 100 %  $\xi_2 = 1,35; 1,07; 0,79$  и 0,51 и  $k$ , который вводят в рассмотрение ( $k \neq 1$ ) только при объемном напряженном состоянии конструкции [2].

Таблица 1

Параметры	Предел прочности, МПа					
	15	25	40	50	60	80
$E_{max} \cdot 10^{-3}$ , МПа	26,50	30,00	34,50	37,00	39,00	40,50
$\nu$ , сут <sup>-1</sup>	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
$\xi_1$	0,65	0,52	0,35	0,25	0,18	0,12
$\xi_2$	3,10	1,96	1,33	1,02	0,83	0,70
$m$	5,10	4,74	4,29	3,85	3,43	3,00
$\eta_2$	3,72	2,35	1,60	1,22	1,00	0,84
$n$	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
$C_{max} \cdot 10^6$ , МПа <sup>-1</sup>	150	102	74	59	50	40

Таблица 2

Параметры	Отношение поверхности конструкции к ее объему, см <sup>-1</sup>			
	$\leq 0,1$	0,2	0,4	0,6
$\nu$ , сут <sup>-1</sup>	0,004	0,006	0,008	0,010
$C_0$	0,625	0,670	0,783	0,875
$\xi_1$	0,700	0,930	1,120	1,30

Для определения интегрального па-раметра деформации с учетом арми-рования можно [2, 3] использовать за-висимость

$$E_{b,s}^* = E_b^* (1 + \mu_i \mu_j), \quad (16)$$

где  $n_k = E_{sk} / E_b^*$ ;  $E_s$  — модуль дефор-мации арматурной стали;  $E_b^*$  устанав-ливают с учетом деформаций усадки и ползучести по формуле (12);  $\mu_i \mu_j$  — приведенная интенсивность арми-рования:

$$\mu_i \mu_j = 3^{-0,5} \left[ \sum_{k=1}^3 (\mu_k n_k)^2 \right]^{0,5}$$

Выбор методики учета режима за-грузки конструкции заключается в том, что коэффициенты  $\xi_m, \xi_n$  следует вычислять для уровней действительных, а не упругомгновенных напряжений с учетом нелинейности деформирования материала и его ползучести. Для одно-мерной задачи связь между этими на-пряжениями, как известно, осуществ-ляется интегродифференциальным уравнением Вольтерра [6]

$$\frac{\sigma(t)}{E(t)} + \int_{t_0}^t \frac{\sigma(\tau)}{E(\tau)} \times \times L(t, \tau) d\tau = \frac{\sigma_0(t)}{E(t)}, \quad (17)$$

где  $\sigma_0(t)$  — упругомгновенные напря-жения, определяемые по теории упру-гости;  $\sigma(t)$  — действительное напряже-ние;  $E(\tau)$  — мгновенный секущий мо-дуль деформации;  $L(t, \tau)$  — ядро урав-нения:  $L(t, \tau) = -E(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \delta(t, \tau)$ ;

$\delta(t, \tau)$  — полная относительная еди-ничная деформация для линейного варианта теории ползучести:  $\delta(t, \tau) = = 1 / E(\tau) + C^*(t, \tau)$ .

Дискретизация уравнения (17) с применением кубатурных формул при-водит к записи системы линейных ал-гебраических уравнений с нижней тре-угольной матрицей, связывающей уп-ругомгновенные и действительные на-пряжения

$$A_{ik} \bar{\sigma}(t) = \bar{\sigma}_0(t), \quad (18)$$

где коэффициенты матрицы

$$a_{ki} = E(\tau_{i-1}) \left[ \frac{1}{E(\tau_i)} - C(\tau_i, \tau_{i-1}) - \frac{1}{E(\tau_{i-1})} \right] \frac{E(\tau_k)}{E(\tau_i)}; \quad (19)$$

$$a_{kk} = E(\tau_{k-1}) \left[ \frac{1}{E(\tau_k)} - C(\tau_k, \tau_{k-1}) \right]; \quad (20)$$

где коэффициенты матрицы  $\tau_i - \tau_{i-1}$  — интервал времени соответ-ствующий одной ступени загрузки.

Для решения трехмерной задачи очевидно достаточно решить систему (18) относительно трех главных упруго-мгновенных напряжений, которые изме-няются пропорционально внешней нагрузке. Отметим также, что па-раметры  $E^{-1}(\tau), C(\tau_i, \tau_{i-1})$  необходимо умножать на функциональные коэффи-циенты  $S_m^0, S_n^0$ , подставляя в зависи-

## Полезный справочник

### Производство сборных железобетонных изделий

/Г. И. Бердичевский, А. П. Васильев, Л. А. Малинина и др. (Под ред. К. В. Михайлова, К. М. Королева) — 2-е изд., переработ. и доп.— М.: Стройиздат, 1989.— 447 с. (Справочник)

Справочники, относящиеся к целой отрасли строительства, представляют особый интерес, поскольку содержат необходимую информацию по широкому кругу вопросов, возникающих в практической деятельности. В данном случае речь идет о производстве сборного железобетона.

В подготовке подобного рода изданий их авторы обычно сталкиваются с необходимостью решения двух основных задач. Первая — это отбор материалов с учетом, как правило, весьма ограниченного объема книги. К сожалению, большей частью не тема определяет объем будущей книги, а наоборот, для отведенного издательством объема необходимо отобрать материал. И вторая — изложение материала, его соответствие действующей нормативной базе, современному уровню науки и техники. Авторы, в основном, справились с этими задачами, предложив читателю книгу, содержащую 37 глав, объединенных в 10 разделов.

В разделе I приведены сведения о железобетонных конструкциях, включая основные требования, предъявляемые к изделиям заводского изготовления для гражданских и промышленных зданий.

В разделе II представлены материалы, используемые при изготовлении сборных изделий. Даны требования к цементам, заполнителям, добавкам, отделочным и вспомогательным материалам, а также к арматурным сталям.

Раздел III посвящен бетону и бетонным смесям. Приведены основные виды бетонов и бетонных смесей, их характеристики, а также требования, предъявляемые к ним.

Разделы IV... VII отведены производству конструкций. Описаны арматурные работы, включая механическую обработку сталей, сварку арматуры и закладных изделий, укладку и натяжение арматуры, защиту ее от коррозии, приведены сведения об арматурных цехах и заводах. Изложена технология приготовления, подачи и транспортирования бетонных смесей в условиях заводов сборного железобетона и дана информация об оборудовании. Указаны сведе-

ния о формах, примененных при изготовлении сборных изделий, приведены теоретические основы процесса формования как вибрационным, так и другим способами; представлено современное формовочное оборудование; описаны процессы отделки и офактуривания изделий. Приведена полезная информация о процессах интенсификации твердения железобетонных конструкций как традиционными, так и новыми способами. Даны режимы электротермообработки, а также тепловой обработки с использованием солнечной энергии и продуктов сгорания природного газа.

В разделе VIII приведены сведения об основных видах контроля качества, в том числе о контроле прочности бетона, предварительного натяжения арматуры и армирования и о приемочном контроле.

Раздел IX, занимающий более 15 % объема справочника, отведен описанию предприятий, комбинатов и технологических линий по производству сборных изделий. В нем содержатся сведения по цехам основного производства, технике безопасности и охране труда, даны технико-экономические показатели работы предприятий, а также расчет энергозатрат.

Заключительный раздел знакомит читателей с технологией производства конструкций из ячеистого, силикатного, жаростойкого, полимерного и полимерсерного бетонов.

От первого издания настоящее выгодно отличается введением новых глав по использованию для тепловой обработки солнечной энергии и продуктов сгорания природного газа, а также по складскому хозяйству и транспортированию бетонной смеси.

Следует отметить, что никакой справочник не может дать информацию в полном объеме, заменив другие источники. Но для удобства читателя при необходимости получения более полной информации были бы желательны соответствующие библиографические ссылки. Такая справочная информация не менее важна, чем технологическая. Ссылки на различные общесоюзные ре-

комендательные документы (пособия, рекомендации, руководства и т. п.), по нашему мнению, должны быть приведены в максимально возможном объеме. Полезно было бы привести в приложении сведения о научно-исследовательских организациях, что упростит для производителей установление необходимых контактов для заключения договоров, получение дополнительной информации и т. п. Это же относится к сведениям о предприятиях-изготовителях технологического оборудования. Разработка информационного раздела справочника была бы весьма полезна.

К сожалению, нельзя дать положительную оценку полиграфическому оформлению книги. Справочник объемом более 30 печ. л., предназначенный для производителей, издан в мягком переплете, что приведет к его быстрому физическому старению.

Эти пожелания, по нашему мнению, важны, так как справочник относится к таким изданиям, систематическое переиздание которых должно стать нормальным явлением очевидно через каждые 5...7 лет с учетом изменений в технологии производства, новых апробированных научных рекомендаций и обновления нормативной базы. Инженерно-технические работники строительной индустрии должны быть уверены, что к установленному сроку они получат переизданное и обновленное пособие.

В книге, написанной большим коллективом авторов, являющихся известными специалистами сборного железобетона, редакторы сумели обеспечить единство стиля, подачи материала, изложения справочных данных. Построение справочника удобно для читателя, так как соответствует технологическому процессу производства. Книга несомненно будет полезна для инженерно-технических работников строительной индустрии. О внимании к этому изданию справочника свидетельствует его реализация (тираж 17 тыс. экз.) во многих городах в течение нескольких недель.

М. Ю. ЛЕЩИНСКИЙ, д-р техн. наук

УДК 691.001

С. А. МИРОНОВ, д-р техн. наук, проф.

## Этапы развития отечественной науки о бетоне

После открытия портландцемента в 1824 г. еще около четверти века во многих развитых странах, прежде всего в европейских, проводились работы по усовершенствованию заводской технологии и получению высоких вяжущих свойств цемента. Во второй половине прошлого века (50—80-е гг.) вначале находят широкое применение бетон, а затем железобетон.

Исследования свойств цементных бетонов в дореволюционный период в нашей стране проводили многие известные ученые. Особенно следует упомянуть работы Н. А. Белелюбского, выполненные в Петербургском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Вначале бетон применяли для возведения массивных опор мостов, портовых и оборонительных сооружений. Вполне естественно, что практика использования жестких трамбованных смесей отразилась на характере научных исследований. Рассмотрение бетонов одной степени жесткости привело к справедливому для того времени утверждению о том, что прочность бетона зависит от его состава или расхода цемента.

По мере расширения области применения железобетона со свойственными ему относительно тонкими сечениями элементов конструкций возникла необходимость создания новых видов бетона и новых средств укладки бетонных смесей. Появились пластичные и литые бетонные смеси и на их основе — бетоны со свойствами, отличающимися от жестких трамбованных. В первое время это отличие оставалось незамеченным. Считалось, что и по отношению к бетонам нового вида справедливо утверждение о зависимости их прочности от состава и расхода цемента. Исходя из этого положения, подвижность бетонных смесей изменяли только за счет содержания в них воды при сохранении расхода цемента и заполнителей.

Естественно, это резко снижало прочность и другие технические свойства, чего нельзя было предположить на

основе накопленных к тому времени знаний и опыта о трамбованных бетонах. Новые факты, полученные при использовании в строительстве бетонов из пластичных и литых смесей, не находили научного объяснения, порождали недоверие к железобетону, особенно в связи с участвовавшими авариями на стройках.

Потребовалось обстоятельное изучение свойств бетона в свете новых фактов. Эти исследования были начаты в США проф. Д. Абрамсом, в Германии профессорами О. Графом и Е. Пробстом, в Швейцарии специальной комиссией по применению литого бетона, в Бельгии проф. Дютроном.

В СССР аналогичные исследования были возглавлены проф. Н. М. Беляевым (ЛИИЖТ). В результате обширных экспериментов были установлены основные зависимости прочности бетона от водоцементного отношения

$$\sigma_0 = f_1(B/C) \quad (1)$$

и подвижности бетонной смеси от  $B/C$ , состава бетона ( $1:n$ ), содержания песка в смеси заполнителей  $r$ , формы и характеристики поверхности заполнителей

$$S = f_2(B/C, n, r). \quad (2)$$

Зависимость (2) дана Н. М. Беляевым в виде

$$S = f_2(B/C, n, M), \quad (3)$$

где  $M$  — модуль крупности, характеризующий крупность смеси заполнителей в бетоне. Из выражения (2) можно определить

$$B/C = f(S, n, r).$$

Дальнейшие исследования показали, что не только прочность, но и другие технические свойства зависят от  $B/C$ .

Опубликованная в 1927 г. книга Н. М. Беляева [1] вызвала широкий отклик в стране. Для координации деятельности по теории и технологии бетона на базе механической лаборатории ЛИИЖТ был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт бетона. По поручению ВСНХ СССР были разработаны технические документы, принята система командирования специалистов с производства для стажировки в лаборатории и открыты

курсы для инженерно-технических работников. Появились новые научные центры, возглавлявшиеся в Москве проф. Б. Г. Скрамтаевым, в Грузии проф. К. С. Завриевым. В Харькове, Киеве, на Урале, на крупнейших стройках Союза возникли группы исследователей бетона.

Б. Г. Скрамтаев затем был постоянным докладчиком на Всесоюзных конференциях по бетону и железобетону по проблеме «Технология бетона». Он умело направлял деятельность ученых-бетонщиков не только московской школы, но и других коллективов, был общепризнанным лидером в области теории и технологии бетона. Он пользовался большим авторитетом не только в нашей стране, но и за рубежом.

В 1964 г. он являлся президентом РИЛЕМа. На международном симпозиуме по ускорению твердения бетона, проходившем в Москве, Б. Г. Скрамтаев выступал с докладом и приветственным словом.

Дальнейшее развитие общих идей и принципов, положенных в основу метода подбора состава бетона, дано в последующих работах проф. Н. М. Беляева [2, 3].

Важным обобщением и развитием исследований в данной области явилось опубликование ближайшим учеником Н. М. Беляева проф. И. П. Александринным книги о строительном контроле качества бетона [4]. Книга переиздавалась шесть раз. Последнее, шестое издание вышло под редакцией и с некоторыми комментариями проф. Б. Г. Скрамтаева.

В механической лаборатории исследовали цементы, заполнители и бетоны Волховской, Свирьской и Днепровской гидроэлектростанций, строительство которых осуществлялось под руководством академиков Г. О. Графтио и Б. Е. Веденеева. Результаты производственных подборов составов бетона для строительства Днепропетровской плотины опубликованы в бюллетене Днепростроя за 1929 год. Испытания свойств бетонов, уложенных в плотины и другие сооружения гидростроя, проводили постоянно.

Для ликвидации сезонности в строительстве в лаборатории были проведены необходимые исследования, имевшие большое практическое значение. Так, известны исследования А. В. Саталкина и Е. М. Пороцкого по пропариванию бетона в камерах до температуры 80...100 °С и в автоклавах под давлением 8 атм (до 180 °С). Проведены также исследования по электропрогреву бетона. Результаты этих работ были опубликованы в 1933 г. в Ленинградском отделении Всесоюзного института сооружений (ЛОВИС).

Я. Е. Иохельсоном исследованы бетоны с гидравлическими и тонкомолотыми добавками, а также способы приготовления бетона на подогретых материалах.

И. В. Шпаковым был разработан ускоренный способ испытания портландцемента. В конце 30-х годов А. Е. Шейкин в механической лаборатории ЛИИЖТа провел исследования цементного камня, зависимости его структуры от минералогического состава цемента и попытался установить связь прочности бетона с этими характеристиками.

Крупные исследования механических свойств бетона были проведены Н. Г. Корсаком. Им исследовано влияние времени на нарастание прочности и механические свойства бетона. Прочность и упругие свойства бетона были изучены на специально созданных установках, предназначенных для длительного испытания образцов крупных размеров.

Результаты проведенных в 30-е годы исследований обобщены Н. М. Беляевым [5]. После разработки наиболее актуальных задач того времени, связанных с подбором состава бетона, технологическими и производственными факторами, теорией прочности бетона Н. М. Беляев много внимания и сил уделил созданию классического учебника по сопротивлению материалов [6]. Этим он восполнил по содержанию многократно издававшийся ранее учебник своего учителя проф. С. П. Тимошенко.

В учебнике Н. М. Беляева отражены классические работы последних лет по теории прочности и деформативности бетона. Интересно отметить, что будучи преподавателем института проф. С. П. Тимошенко поручил Н. М. Беляеву, как способному студенту выполнить дипломную работу по испытанию рельсов на долговечность (динамические нагружения).

За исследования по строительной механике, расчет стальных конструкций и крупный вклад в строительную науку в 1940 г. Н. М. Беляев был избран членом АН СССР. Весной 1941 г. им

был сделан доклад на научно-техническом Совете ЦНИПС, на заседание которого были приглашены крупнейшие ученые-строители: Н. С. Стрелецкий, И. М. Рабинович, М. Я. и И. Я. Штаерманы, Ю. А. Нилендер, В. М. Келдыш, В. З. Власов, А. А. Гвоздев, Л. И. Онищик, Г. Г. Карлсен, П. Я. Каменцев, Л. А. Серк и др.

В докладе были изложены пути развития научно-исследовательских работ в нашей стране в области строительства. Были названы научные центры страны по регионам, отмечена необходимость изготовления или приобретения в зарубежных фирмах испытательного оборудования. Поднимался вопрос и о подготовке специальных кадров для экспериментальных и теоретических исследований. Это можно назвать прообразом создания строительной академии.

Уместно отметить, что работам Н. М. Беляева предшествовали крупные исследования прочности и долговечности бетона проф. Н. А. Белелюбского, совместно с которым проводили исследования морозостойкости, водонепроницаемости, коррозии бетона в портовых сооружениях профессора А. Р. Шуляченко, В. И. Чарномский, А. А. Байков и др.

С 1917 по 1923 гг. в ЛИИЖТе проф. В. П. Петровым были закончены испытания прочности каменной кладки и установлены новые нормы допускаемых напряжений. Одновременно были изучены деформации каменной кладки. Результаты обширных испытаний каменных материалов в различных районах страны были проанализированы, дано классическое обобщение по кладке, господствовавшей от «римского» бетона до бетона XIX в.

Нельзя не отметить, что к результатам крупнейших исследований в механической лаборатории ЛИИЖТ мало обращаются современные ученые. Недостаточно их использовали и современники. В связи с этим мы часто встречаем работы и публикации без ссылок и значения ранее проведенных капитальных исследований. Многие публикации делаются поспешно и основаны на незначительных опытах.

Несмотря на большие достижения в производстве портландцемента, он не прошел еще решающего испытания временем. Обжиг цементного клинкера, например, производится преимущественно в наклонных вращающихся печах длиной 60...200 м и диаметром 4...7 м. В современных условиях при необходимости экономии энергетических ресурсов актуален переход на приготовление сырьевой шихты сухим

способом, снижающим расход топлива примерно в 2 раза по сравнению с существующим мокрым способом производства. Это потребует переоборудования цементных заводов и оснащения их вертикальными короткими печами. В настоящее время осваиваются новые эффективные технологии производства гидравлических вяжущих.

Должно быть твердо принято, что цемента по заказу строителей следует производить на заводах по полной номенклатуре.

Хорошим примером производства цемента являются Дания, Финляндия, Швейцария и другие страны, которые выпускают портландцемент марки 500, а все остальное является производным от него. Для ускорения твердения клинкер домалывают, получая марку 600, а для шифера получают марку 400, т. е. более грубого помола. При замене марки цемента 500 на 400 достигается экономия 15 % цемента.

При все возрастающих объемах строительства в нашей стране всегда был дефицит цемента. Строители стремились смягчить его путем введения молотых минеральных и иных добавок и увеличением тонкости помола заводского цемента. Много проведено исследований свойств бетона с такими добавками, как шлаки, золы, трепел, песок. Учитывая опыт прошлого, свой и других исследователей, можно прийти к выводу, что затраты делались большие, а результаты получались малые. Это относится и к раздельным технологиям приготовления бетонных смесей.

В 1936 г. мною впервые было сделано предложение по предварительной гидратации цемента в бетоносмесителе. В Гороховце строители Горьковской ГЭС на полигоне произвели проверку изобретения, но на практике предложение не осуществлено.

В 50-е годы строители провели масштабные работы по применению вибродомола цемента. Применение малопродуктивных мельниц, усложнение технологии, неэкономичность привели к отрицательным результатам. Кажущееся крупное открытие не выдержало проверки временем. Страна понесла большие убытки. Наука по бетону была отвлечена от разработки более актуальных проблем.

Уместно привести один из поучительных диалогов при обсуждении, в свое время, в МГК КПСС проблемы обеспечения работы вибропркатного стана инж. Н. Я. Козлова. По проекту требовалось за 2 ч обеспечить достижение прочности бетона 20 МПа. С трудом достичь этого можно было путем вибродомола цемента с трех лучших

заводов. Мною было предложено создать при опытном заводе цех с серией вибротельных для домолы цемента.

Н. Я. Козлов категорически отказался, считая задачей завода выпуск стеновых железобетонных панелей на готовых цементах. Ответ был вполне резонный. В результате и на других заводах

ЖБИ вибротельных не применяют до сих пор.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б е л я е в Н. М. Метод подбора состава бетона. — Л.: Госстройиздат, 1927.
2. Б е л я е в Н. М. Проектирование бетона и тонкие бетоны // Строительные материалы. — 1931.

3. Б е л я е в Н. М. Подбор состава бетона // Новое в железобетоне. — Л.: Госстройиздат, 1934.
4. А л е к с а н д р и И. П. Строительный контроль качества бетона. — Л.: Госстройиздат, 1930.
5. Б е л я е в Н. М. Прочность, упругость и ползучесть бетона. — Л.: Госстройиздат, 1941.
6. Б е л я е в Н. М. Сопротивление материалов — Л.: Госстройиздат, 1932.

## Информация

УДК 624.012.45:65.011.57

### Автоматизация процессов производства железобетонных изделий и конструкций

Такова тема научно-технического семинара, проведенного в МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского. На нем были представлены результаты работ научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных организаций Москвы и других городов нашей страны по созданию и внедрению автоматизации в технологию производства сборного железобетона, состоялось обсуждение основных направлений дальнейшего развития работ по автоматизации производства железобетонных изделий, по организации широкого внедрения их результатов в промышленность.

В настоящей статье дается изложение ряда докладов, подготовленных научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями. Статья в следующем номере нашего журнала будет посвящена докладам производственных организаций.

С обстоятельным докладом об основных направлениях технического перевооружения и автоматизации производства сборного железобетона выступил Д. Ф. Толорая (ВНИИжелезобетон Госстроя СССР). Намеченное на XIII пятилетку и на период до 2005 г. направление развития строительства сохраняет определяющее значение в нем производства сборного железобетона, но на новом техническом уровне.

Повышение технического уровня этого производства осуществляется на основе уже сложившейся мощной базы.

В настоящее время на заводах сборного железобетона основные производственные процессы — арматурные, подготовка форм, формовочные, отделочные и др. — остаются трудоемкими и тяжелыми, доля ручных операций пре-

вышает 40 %, уровень механизации — не более 50 %, автоматизации — 10—15 %, нередко допускается выпуск продукции низкого качества, нарушаются нормативные санитарно-гигиенические требования по шуму, вибрации, запыленности и влажности. Эти заводы остаются социально непривлекательными. В отрасли до 70 % объема продукции выпускается на поточно-агрегатных линиях с перемещением форм мостовыми кранами и использованием ямных камер пропаривания и лишь 10—12 % — на конвейерных и кассетных линиях. Морально устаревшая технология и неэффективное оборудование используются на предприятиях стройиндустрии без достаточной реновации в течение длительного времени, что привело к значительному износу технологического оборудования.

Прогресс производства сборного железобетона до сих пор проходил в основном в направлении частичной механизации и автоматизации отдельных технологических процессов, экономии цемента путем введения различных добавок, совершенствования дозирования и приготовления бетонных смесей, энергосбережения за счет улучшения тепловых агрегатов и режимов тепло-влажностной обработки. В производстве сборного железобетона накоплен достаточный объем знаний и опыта для резкого ускорения технического прогресса, комплексной механизации и автоматизации. Они наметились по двум основным направлениям: технического перевооружения и интенсификации действующего производства путем массового внедрения в него прогрессивных технологических процессов и оборудования, средств и систем автоматизации;

создания принципиально новых технологических процессов и на их базе — высокоавтоматизированных заводов строительных деталей повышенной заводской готовности.

Докладчик назвал следующие основные направления технического перевооружения:

массовое внедрение химических и минеральных добавок бетона самых широких назначений и диапазонов действия, централизованного или местного изготовления, во всех случаях при необходимых технико-экономических обоснованиях, в том числе с учетом освоения заводских или региональных помольных, реакторных и др. установок; первоочередное внедрение суперпластификаторов и эффективных пластификаторов (С-3, 40-03, ДОФЕНА, ЛСТМ-2, ЛТМ, НИЛ-21 и др.), золы и золошлаковых отходов, местных природных наполнителей и др.; расширение изготовления и применения новых высокоэффективных вяжущих — ВНВ и ТМЦ. Упорядочение, с учетом конкретных условий, использования высококачественных заполнителей бетона; внедрение комплекса мероприятий, обеспечивающих в отдельных конкретных случаях технико-экономическую эффективность применения мелкозернистых бетонов;

проведение реконструкции по типовым проектам складов сырьевых материалов (цемента, щебня, песка, пористого заполнителя) с возможностью приема и транспортирования золошлаковых отходов (золы-уноса и отвальных зол), а также химических добавок, с учетом совершенствования складского хозяйства предприятий в направлении широкого использования автоматизации;

усовершенствование организации приготовления и выдачи бетонных смесей на существующих бетоносмесительных узлах и установках на основе упорядоченных дозировочных операций, применения контрольных приборов, средств автоматизации, интенсивных

процессов и оборудования для приготовления бетонных смесей; использование комплектно-модульного оборудования для автоматизированных бетоно-смесительных цехов производительностью 60 и 120 м<sup>3</sup> бетонных смесей в час с системой управления на базе микропроцессорной техники;

внедрение высокопроизводительных и автоматизированных технологических линий с применением роботизированных модулей и манипуляторов по безотходной переработке арматурных сталей, в том числе высокопрочных, термоупрочненных; изготовление штампованных, штампосварных и сварных закладных деталей с их металлизацией, а также плоских и пространственных арматурных каркасов;

применение адресной подачи бетонных смесей с использованием автоматически управляемых транспортных средств без дополнительных перегрузок, обеспечивающих точную их доставку на формовочные посты;

освоение адресной подачи арматурных изделий и каркасов в формы с помощью автоматизированного оборудования и манипуляторов;

внедрение форм рациональных конструкций — с гибкими бортами, роскошной решеткой поддонов, облегченных поддонов с поднятым центром тяжести, предварительно напряженных, с трехточечной схемой опирания и др.; расширение применения переналаживаемых форм, особенно для изготовления панелей наружных стен, с целью повышения архитектурно-художественной выразительности жилых и общественных зданий, особенно в массовой жилой застройке разной этажности и конфигурации в плане с вариантной пластикой фасадов;

упорядочение форм и формовочных постов с использованием серийного и нестандартного оборудования — бетоноукладчиков, виброплощадок, в том числе низкочастотных, вибровкладышей, пригрузов, заглаживающих устройств, установок роликового формирования, немедленной распалубки и т. п. с основной целью соблюдения нормативных требований по условиям труда и повышения качества продукции, в необходимых условиях даже за счет повышения подвижности применяемых бетонных смесей; использование высокоэффективных эмульсионных смазок на восковых компонентах, обеспечивающих получение изделий с поверхностью высокого качества, организация компактных автоматических узлов и установок для приготовления и нанесения смазки на форму;

массовое внедрение энергосберегающих режимов тепловой обработки бето-

на, эффективных тепловых установок с повышенными теплотехническими свойствами ограждающих конструкций, работающих на паре, продуктах сгорания природного газа, вторичных энергоресурсах, солнечной энергии и т. д.; принципиальное изменение организации технологии тепловой обработки на действующих и вновь строящихся предприятиях, поэтапный переход на экологически чистые, интенсивные способы ускоренного твердения бетона, включая электротермообработку изделий, предварительный разогрев бетонной смеси, использование теплого бетона;

внедрение технологических линий с 2—4 видами фасадной отделки, обеспечивающих переход на другие способы отделки после незначительной переналадки;

усовершенствование механизированного оборудования для фасадной отделки с применением белых и цветных цементов, а также высокомеханизированных линий по отделке путем глазурирования, обжига и покрытия металлическим тонким листом с цветным пластмассовым покрытием; освоение новых линий по производству изделий малых архитектурных форм, приставных фасадных архитектурных панелей для использования в отделке фасадов зданий социальности, торговых комплексов и общественных зданий;

завершение полного оснащения предприятий сборного железобетона приборами и аппаратурой пооперационного и выходного контроля качества изделий в соответствии с требованиями нормативных документов, с увеличением выпуска этих приборов механическими заводами строительных министерств;

совершенствование технологических линий путем комплексной механизации и автоматизации, оснащения недостающими оборудованием, механизмами, приборами, средствами автоматизации, манипуляторами и роботами; массовый переход от агрегатно-поточных и стендовых линий к конвейерным, двух- и многоярусным, двухветвевым линиям с наземными и подземными шелевыми камерами; широкое использование комбинированных линий — кассетно-конвейерных, кассетно-поточных, полуконвейерных и др.; возрастание эффективности и надежности конвейерных линий с применением рациональной организации технологических потоков, повышением технологической гибкости, механизацией процессов формирования, распалубки и сборки форм; внедрение адресной подачи арматурных, стальнойных изделий, теплоизоляционных, отделочных материалов;

ориентация на совершенствование агрегатно-поточных, стендовых линий и

установок в производстве доборных, архитектурных изделий, а также панелей наружных стен на предприятиях малой мощности, изготавливающих изделия по разовым заказам; широкое использование роторно-конвейерных линий и прессующих установок-автоматов для изготовления элементов нулевого цикла и благоустройства, а также мелкогабаритных стеновых блоков (для малоэтажного строительства), усовершенствованных комплексно-механизированных нолуконвейерных, конвейерных и стендовых линий в массовом производстве промышленных конструкций (колонны, ригели, балки) и модернизированных стендовых установок для изготовления крупногабаритных конструкций (фермы, балки до 24 м, покрытия типа КЖС и др.).

Массовое применение указанных технических решений обеспечит существенное повышение технического уровня производства сборного железобетона.

Далее докладчик осветил основные направления создания высокоавтоматизированных заводов. Техническое перевооружение обеспечивает значительное улучшение деятельности заводов сборного железобетона, но не создает условий для непосредственного перерастания, как это обычно имеет место в смежных отраслях, в автоматизированное производство. Применяемые технологические процессы, оборудование и линии, в том числе наиболее прогрессивные из них — конвейерные, недостаточно отвечают условиям рациональной организации и автоматизации производства, поэтому необходимы новые принципиальные решения. Переход на автоматизированные процессы и управление возможен лишь при соответствующем упорядочении производства, его технологической подготовленности, достижении высокого уровня частичной и комплексной механизации, наличии современных средств контроля и автоматизации, особенно датчиков, физических и математических моделей основного обрабатываемого материала — бетонной смеси, показателей её физико-механических свойств, системы гибкой производственной информации и т. д. Недостаточный учет указанных факторов, как показывает, например, опыт по созданию автоматизированных производств и технологических линий виброгидроштампования, вибропроката, стендового проката, силового проката и т. д., приводит к ограничениям или даже негативным результатам.

ВНИИжелезобетон совместно со смежными организациями по Государственной научно-технической программе «Стройпрогресс-2000» разрабатывает проект высокоавтоматизированного

завода по производству бетонных и железобетонных конструкций и изделий для жилищного строительства с заданной целью достичь по сравнению с современным уровнем производства повышения производительности труда не менее чем в 2—3 раза и уровня автоматизации — 80 %. Пуск этого завода в опытную эксплуатацию планируется в 1997 г. Докладчик назвал некоторые основополагающие предпосылки создания указанного завода. Прежде всего — это ориентация на выпуск прогрессивной продукции. По вновь разрабатываемым концепциям в массовом жилищно-гражданском строительстве основные объемы будут составлять средние и малоэтажные здания, выполненные из строительных деталей, в том числе небетонных, широкой номенклатуры, увеличенных размеров, улучшенной заводской готовности. При сохранении в сборном строительстве существующих систем типового проектирования, унификации, модулирования и стандартизации, с точки зрения организации производства сборного железобетона указанные концепции представляются очередным расширением номенклатуры его продукции и усложнением работы предприятий. Как подтверждает опыт, все возрастающее количество элементов указанной системы, особенно чрезмерное увеличение типовых проектов зданий, рост номенклатуры сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий, в конечном счете, привели к резкому снижению уровня специализации технологических линий и заводов сборного железобетона. Практически, за редким исключением, в производстве отсутствуют специализированные технологические линии, обычно на них изготавливаются десятки и даже сотни типоразмеров изделий путем применения для каждого из них индивидуальных форм или бортовой оснастки, вкладышей, вставок и т. д. Особенно негативным результатом этого является сложившееся повсеместно значительное недоиспользование парка механических форм.

Увеличение номенклатуры продукции и низкий уровень специализации технологических линий следует считать закономерным, особенно с учетом повышенных архитектурно-градостроительных требований к зданиям сборной конструкции и застройкам. Высокоавтоматизированные заводы подлежат ориентированию на производстве универсальной продукции с учетом возможностей изготовления любых, технико-экономически обоснованных по заключительному строительному эффекту, конструкций и изделий. Соответственно принцип переналаживаемости стано-

вится основным для автоматизированного производства сборного железобетона.

С переходом на автоматизированное производство еще более актуальным, чем в обычном случае, становится вопрос оптимизации мощности предприятий сборного железобетона. В соответствии с условиями унификации производства и различными потребностями отдельных строительных регионов высокоавтоматизированный завод целесообразно решать по модульной системе, с общей мощностью 50—200 тыс. м<sup>2</sup> общей площади, с градацией, по имеющемуся опыту, порядка 50 тыс. м<sup>2</sup> общей площади, в том числе с учетом необходимости выполнения заказов постороннего назначения, например, кооперативного и индивидуального строительства.

На современных заводах сборного железобетона основное производство, как правило, представляется суммой отдельных, друг с другом не связанных технологических линий. Обще заводские объемы однородных технологических процессов рассредоточены по самостоятельным технологическим линиям. Из-за этого уровень использования технологического оборудования весьма низок. Например, виброплощадка, установленная на поточно-агрегатной или конвейерной линии, при продолжительности формовочного цикла 10—30 мин. находится в работе лишь 1—5 мин., а остальное время, по существу — технологический перерыв. Соответственно коэффициент ее технологической загрузки исчисляется в пределах 0,05—0,15. Низкая технологическая загрузка оборудования в настоящее время, при применении сравнительно простого оборудования, мало отражается на технико-экономических показателях производства. Однако при использовании сложной техники положение меняется. Так, формовочный агрегат на длинных стендах безопалубочного непрерывного формования характеризуется коэффициентом технологической загрузки 0,8—0,9 и при более низких его значениях применение такого сложного оборудования вообще не может быть оправданным. Для высокоавтоматизированного завода целесообразно отказаться от разбивки основного производства на самостоятельные технологические линии, осуществить обще заводскую концентрацию однородных технологических процессов для их выполнения оборудованием высокой производительности и технического уровня, особенно роботов со сменным рабочим органом, программным управлением и т. д.

Конвейерное производство сборного

железобетона привело к многодельности в работе и чрезмерному увеличению металлоемкости оборудования, особенно форм — поддонов и грузоподъемного — транспортного. Обычно масса оборудования на этих технологических линиях составляет 800—1000 т и больше. Расход металла, амортизированного в выпускаемой продукции, составляет 3—5 кг на 1 м<sup>3</sup> изделий, т. е. не менее 4—7 % от расхода арматуры. Грузопоток на конвейерных линиях весьма значителен — 100—150 т/час. Однако наиболее существенным фактором остается ограниченность пропускной способности пропарочных камер непрерывного действия и тем самым любые усовершенствования остальных технологических процессов не отражаются на производительности технологической линии. Реконструкция и увеличение объема пропарочных камер в производственных зданиях, в которых размещены действующие линии, практически нереальны и в большинстве случаев неоправданны.

Совместное рассмотрение принципов повышения уровня универсальности продукции, целесообразности общезаводской концентрации однородных технологических процессов и недостатков конвейерного производства приводит к техническому решению использования для высокоавтоматизированного завода стендового производства при его организации с передвижным в отношении форм или стендов с технологическим оборудованием для изготовления конструкций и изделий заданной номенклатуры за каждый производственный цикл. Такое решение потребует установления рациональных транспортных схем и процессов переналаживания форм и рабочих органов передвижного технологического оборудования.

На высокоавтоматизированном заводе предусматривается применение эффективных исходных материалов и технологических процессов. Эффективность этих процессов для автоматизированного производства определяется по их сложности, характеризующейся, во-первых, числом составляющих процесс элементов и, во-вторых, для каждого из этих элементов — числом и номенклатурой внутренних и внешних связей. Чем меньше числа указанных элементов и их связей, тем эффективнее строятся автоматизированное производство и системы его управления.

Для высокоавтоматизированных заводов должно сохраняться использование пластифицированных умеренно подвижных бетонных смесей, стабильность составов и свойств которых поддерживается автоматическими системами. Однако универсальность продукции

такого завода предусматривает возможность приготовления и применения бетонных и других смесей весьма широкого диапазона, особенно на основе новых вяжущих низкой водопотребности, что требует повышения точности дозирования составляющих бетонов.

Как показывает опыт, высокоавтоматизированный завод должен быть обоснован на использовании следующих производственных процессов: программного автоматизированного переналаживания форм, стендов, технологического и транспортного оборудования; непрерывной навивки арматуры на формы и стенды; предварительного подогрева и уплотнения бетонных смесей; адресной подачи бетонной смеси непосредственно в формы и стенды; формования конструкций и изделий в вертикальных формах с применением внутреннего вибрирования, твердения бетона в теплоизолированных формах и стендах с минимальным подводом тепловой энергии; диспетчерского автоматического управления приемом исходных материалов, комплектующих изделий и отпуском готовой продукции.

Для высокоавтоматизированного завода нужно своевременно подготовить его соответствующее информационное и программное обеспечение, создать необходимые технические средства и системы, и в первую очередь, отсутствующие к настоящему времени специальные приборы для контроля следующих параметров: удельных поверхностей цемента и других твердых составляющих бетона; удельной поверхности флокул приготовленной бетонной смеси; предельного напряжения сдвига бетонной смеси, в том числе предельно уплотненной, при статических, динамических и температурных воздействиях; вязкости бетонной смеси в ранее указанных состояниях; плотности бетонной смеси; геометрических размеров формы; усилий натяжения арматуры; чистоты открытой поверхности формируемых изделий; однородности состава и уплотнения бетонной смеси в изделиях.

Совершенствование действующего производства сборного железобетона с целью повышения уровня механизации и автоматизации отдельных технологических процессов, устранения отдельных «узких мест» должно проводиться одновременно с созданием принципиально нового высокоавтоматизированного производства.

Доклад об опыте разработки и эксплуатации устройства автоматического управления системой дозирования компонентов бетонной смеси — УД-1 подготовили Ю. С. Серлик, А. Н. Федоров и А. Э. Гордон. Это устройство разработано одесским филиалом ВПИ Ор-

гэнергострой совместно с ВНПО «Союз-железобетон». Оно предназначено для автоматизации процессов дозирования и приготовления бетонных смесей на одной секции БСУ циклического действия, выполненного по вертикальной схеме и работающего по многорецептурной технологии. В 1983 г. опытный образец устройства успешно прошел приемоочные испытания и был сдан в эксплуатацию на головном заводе ПО «Днепроэнергостройпром» (г. Светловодск Кировоградской обл.), и с 1986 г. УД-1 выпускается серийно Рижским опытным заводом «Энергоавтоматика». В начале 1989 г. серийно выпускаемое устройство УД-1 было установлено на головном заводе ПО «Днепроэнергостройпром». По данным этого объединения, за первый год эксплуатации опытного образца УД-1 коэффициент вариации прочности бетона снизился с 9 до 7 %, что дало возможность уменьшить коэффициент требуемой прочности (от марочной) с 87 до 84 %. Для средней марки бетона М350 это позволяет снизить отпускную прочность примерно на 10 кг/см<sup>2</sup>, что обеспечивает уменьшение расхода цемента на 7 кг/м<sup>3</sup>, т. е. около 1,5 %. Экономия цемента за счет повышения точности дозирования составила 2,6 %. Число работающих на БСУ сократилось на 3 человека. При годовом объеме выпуска 100 тыс. м<sup>3</sup> бетонной смеси и стоимости 1 т цемента 22 р. экономический эффект составил 36 тыс. р. в год на одно устройство.

Автоматизация ведения и документирования учетной информации о расходе материалов и объемах выданной бетонной смеси дала возможность улучшить организацию и планирование на производстве. Сигнализация о состоянии технологического оборудования и диагностирование аварийных ситуаций с указанием причины и документированием обеспечили планирование ремонтно-профилактических работ, своевременное выявление и предотвращение выхода из строя технологического оборудования. Секция БСУ, где установлено УД-1, выпускает в год 110—120 тыс. м<sup>3</sup> при двухсменной работе, а до внедрения УД-1 она работала в 3 смены и производила около 100 тыс. м<sup>3</sup>.

Конструкция и габариты УД-1 допускают возможность совместной установки двух устройств на двухсекционном БСУ при обслуживании их одним оператором. Это позволяет сократить количество обслуживающего персонала на 1 человека в смену.

Б. В. Гусев, А. И. Звездов и А. К. Караковский посвятили свой доклад методу непрерывного армирования как средству автоматизации производства

сборного железобетона. Этот метод превратился в материало-, трудо- и энергосберегающую технологию создания предварительно напряженного арматурного каркаса при производстве сборного железобетона. Он основан на применении агрегатов, в том числе автоматов и роботов, способных непосредственно из бухты арматуры навивать с заданной величиной натяжения канат или проволоку в любом направлении — вдоль и поперек стенда (формы), а также по полигональному контуру. При этом благодаря использованию высокопрочной арматуры достигается экономия стали (до 1,5—2 раз), а за счет механизации процесса — резкое снижение трудозатрат (в 3—5 раз).

На заводах ЖБИ находятся в эксплуатации в составе технологических линий три типа арматурно-намоточных агрегатов. Агрегат стационарного типа, эксплуатируемый в составе поточных линий, предназначен для создания предварительно напряженных каркасов плитных конструкций массового применения типа панелей перекрытий, преимущественно многопустотных. Агрегат самоходного типа — универсальный — предназначен для эксплуатации на стендовых линиях при изготовлении длинномерных изделий, а также изделий, армированных в двух направлениях. Такой агрегат эксплуатируется на заводе ЖБИ объединения «Рязаньстрой». Агрегат с поворотной платформой применяется при изготовлении объемных и криволинейных элементов, преимущественно силовых элементов элеваторов, где применение другого способа натяжения арматуры практически исключается.

Накопленный опыт использования метода непрерывного армирования подтверждает его преимущества и выдвигает задачу кардинального увеличения объемов выпуска и расширения номенклатуры непрерывно армированных конструкций. Авторы доклада назвали факторы, способствующие решению этой задачи, требования, которым должно удовлетворять новое поколение арматурно-намоточных агрегатов, и предложили пути повышения их производительности и расширения технологических возможностей. Авторы утверждают, что метод непрерывного армирования, являющийся средством автоматизации одного из сложных технологических процессов — создания предварительно напряженного арматурного каркаса — может являться основой для перехода к полной автоматизации производства сборных железобетонных конструкций нового поколения, к созданию заводов-автоматов, выполняющих весь цикл изготовления — от приема сырья до отправки продукции потребителю.

УДК 624.21.012.45

К. В. МИХАЙЛОВ, д-р техн. наук, проф. (НИИЖБ); Л. В. ЗАХАРОВ, канд. техн. наук (ЦНИИС)

## Возведение железобетонных мостов методом поворота

В современных условиях строительства непрерывно совершенствуется технология возведения железобетонных мостов, в том числе разрабатываются оригинальные способы установки пролетных строений в проектное положение. Успех в реализации новых приемов строительства во многом обусловлен конструктивными и технологическими преимуществами метода преднатяжения конструкций, используемого не только как способ регулирования усилий, но и как эффективное средство монтажа. Это расширяет роль и возможности инженерной оценки местных условий строительства (гидрогеология, экология, интенсивность движения транспорта и др.) в выборе оптимального способа производства работ по возведению того или иного сооружения.

При возведении железобетонных мостов отработаны и применяются такие способы монтажа пролетных строений, как навесная сборка и навесное бетонирование, сборка на перемещаемых подмостях и поперечное бетонирование, конвейерно-тыловая сборка и циклическая продольная надвигка, установка пролетных строений с плавсредств и др. Особое место занимает новый необычный способ — установка пролетного строения в проектное положение путем его поворота вокруг вертикальной оси, совмещаемой с осью одной из опор моста. Впервые такой прием использовали в ФРГ на строительстве подъездного моста к Эрфуртской плотине в 1973 г. [1].

При этом методе монтажа пролетное строение целиком или по частям изготавливают на берегу в положении, наиболее удобном для бетонирования или сборки, и по мере готовности перемещают поворотом в плане до совпадения с проектной осью моста (рис. 1). Традиционные приемы изготовления конструкции совмещаются с технологией монтажа, при которой большие массы перемещают аналогично тому, как при продольной или поперечной надвигках или при перевозке пролетных строений на плавсредствах.

Появлению метода поворота спо-

собствовало распространение в строительстве листовых материалов с коэффициентом трения 0,04...0,03 и менее, разрешивших проблему транспортирования массивных конструкций из железобетона.

Наиболее рационально использовать метод поворота при возведении мостов средних и больших пролетов, с числом не более трех, мостов небольшой высоты, пересекающих оживленные транспортные коммуникации с подмостовым габаритом, затрудняющим монтаж конструкций пролетного строения непосредственно в пролете.

Изготовление пролетного строения на берегу значительно проще, поскольку выполняется в наиболее выгодных условиях известными хорошо отлаженными способами. Важно в новом методе обеспечить продольную и поперечную устойчивость конструкции в течение всего процесса поворота. Безотказность работ гарантируется учетом напряженного состояния перемещаемой конструкции в положениях, не свойственных работе конструкции в стадии эксплуата-

ции и осложняемых условиями воздействия случайных нагрузок и нагрузок от ветра, а также точностью оценки и регулирования фактической жесткости пролетного строения на период поворота.

Например, устройство дополнительной катушей береговой опоры повышает как продольную, так и поперечную устойчивость поворачиваемого пролетного строения [2]. Требованиями устойчивости конструкции в процессе поворота предопределяется также специальное оснащение опоры, совпадающей с осью вращения [3]. Обязательным является фиксирование оси поворота пролетного строения. Если опора выполняет только роль оси вращения, то применяют неопределенную опорную часть или более простое решение с использованием гидравлического домкрата или песочниц, служащих цапфой вращения.

Важно определить место приложения усилия поворота конструкции. Относительно небольшое по величине (3...5 % массы поворачиваемой конструкции), усилие создается гидравлическими домкратами в центре вращения или с использованием лебедок, фаркопов при перемещении точки его приложения к консоли пролетного строения. Предпочтительней прикладывать усилие поворота на опоре вращения, что исключает появление дополнительного изгибающего момента в конструкции.

Методом поворота построено более десяти мостов в ФРГ, Франции, Австрии, Бельгии, Японии. В осуществленных объектах варьировали статические схемы пролетных строений, число пролетов, разбивку пролетных строений на участки для изготовления на берегу, положение осей вращения и места приложения усилия поворота, способы уравнивания масс поворачиваемой конструкции, углы поворота и др.

Так, с симметричной разбивкой пролетного строения для его изготовления



Рис. 1 Мост через р. Везер (ФРГ)

а — схема моста и поперечное сечение; б — последовательность монтажа пролетного строения, в — схема опирания пролетного строения при повороте; I, III — изготовление пролетного строения по частям (полупролетам) на берегу; II, IV — установка пролетного строения полупролетами в проектное положение; у — замыкание установленных в проектное положение частей моста; 1 — оттяжка из стержней диаметром 36 мм; 2 — пути скольжения; 3 — центрирующая цапфа фирмы «Мауэр»; 4 — опорный треугольник; 5 — замыкающий стык

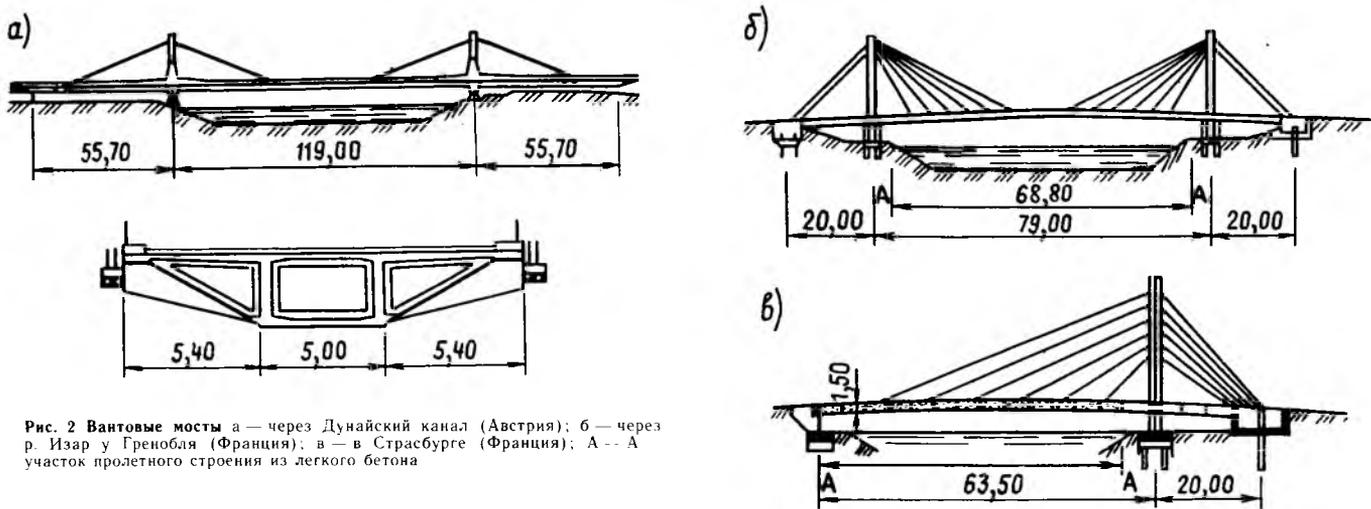


Рис. 2 Вантовые мосты а — через Дунайский канал (Австрия); б — через р. Изар у Гренобля (Франция); в — в Страсбурге (Франция); А — А — участок пролетного строения из легкого бетона

на берегу, в 1973 г. методом поворота вокруг вертикальной оси построен трехпролетный мост через р. Везер в ФРГ (см. рис. 1). Неразрезное пролетное строение выполнено по схеме  $45,6 + 87 + 46,5$  м коробчатого сечения над опорами и в виде плитно-ребристой конструкции в средней части речного и береговых пролетов. Бетонировали его на обоих берегах частями длиной по 80 м, развернутыми в плане на  $90^\circ$  от проектного их положения. Поворот каждой части осуществляли с опиранием на накаточный путь, уложенный на уширенный фундамент промежуточных опор моста. Ось вращения пролетного строения фиксировали цапфой конструкции фирмы «Мауэр». Дополнительными элементами устойчивости пролетного строения на время поворота служили наклонные тязи из стержневой арматурной стали диаметром 36 мм, соединяющие его с уширенной нижней частью опоры. Поворот конструкции осуществляли усилием, приложенным на опоре вращения.

С учетом местных условий был применен метод поворота при возведении в 1975 г. моста Фонтаннел через канал Эско во Франции [1, 2, 4]. Пролетное строение моста шириной 10 м выполнено в виде трехпролетной неразрезной балки длиной 126,3 м ( $29 + 68,3 + 29$ ) переменной высоты коробчатого сечения в береговых пролетах с переходом в речной пролет (высота над опорой 3,4 м) и плитно-ребристой конструкции в его средней части (наименьшая высота 1,7 м). Из-за намечаемого в перспективе уширения канала Эско под большой мостовой габарит одну половину моста бетонировали на подмостях, располагаемых на проектной оси моста в пределах неразработанной части русла. Вторую, симметричную часть изготавливали на берегу параллельно каналу и устанавливали по мере готовности в проектное положение поворотом на  $92^\circ$ . Часть моста за-

мыкали в неразрезную конструкцию бетонированием центральной секции на местных подвесных подмостях.

При возведении моста шириной 10,75 м через р. Луару у Флеха (Франция, 1982 г.) методом поворота применили новый принцип преднапряжения железобетонных пролетных строений открыто располагаемой, не имеющей сцепления с бетоном, арматурой. Пролетное строение в виде неразрезной трехпролетной коробчатой балки по схеме  $29 + 64 + 29$  м армировали тремя видами напрягаемой арматуры: арматурой по системе Фрейсине типа 12Т15, воспринимающей лишь собственную массу конструкции в процессе бетонирования, располагаемой в закрытых каналах с последующим их инъектированием; открыто располагаемой арматурой типа 19Т15, обжимающей пролетное строение на всю длину; арматурой типа 12Т15, устанавливаемой в замыкающей секции неразрезного пролетного строения и омоноличиваемой с бетоном конструкции.

В средней части для уравнивания собственных масс при повороте пролетное строение на протяжении 54 м выполняли из легкого бетона. Забетонированные по обоим берегам симметричные половины пролетного строения устанавливали в проектное положение поворотом вокруг промежуточной опоры с использованием дополнительного опирания береговой консоли на временную катучую опору. Устройства поворота на промежуточной опоре располагали на стыке уширенной нижней части тела опоры со свайным ростверком. Жесткое сопряжение пролетного строения с промежуточной вращаемой опорой достигалось временным сдвоенным его опиранием с установкой вертикальных преднапряженных тяз, аналогично решению, использованному при возведении моста через р. Везер (см. рис. 1).

В новом варианте с сочетанием сбор-

ного и монолитного бетонов, в стесненных горных условиях французских Альп при одновременном косом (угол около  $45^\circ$ ) пересечении железнодорожного пути и р. Фиер метод поворота использовали при строительстве моста Бразилли во Франции [5, 6]. Мост длиной 277 м с составной по длине односекционной коробчатой неразрезной балкой имеет пролеты  $78,1 + 110 + 65$  м, ширину 12,18 м. Пролетное строение моста предварительно напрягали в продольном направлении по системе VSL и возводили поэтапно.

На первом этапе у каждой промежуточной опоры на сплошных подмостях способом отпечатка бетонировали сборные блоки. На втором — с применением легких кранов от промежуточных опор параллельно р. Фиер внавес собирали двухконсольные участки пролетных строений. При этом надпорный блок бетонировали в проектное положение и облицовывали прокладками из неопрена и тефлона, выполняющими роль скользящих поворотных устройств на контакте с опорой. На третьем — каждую двухконсольную балку, собранную из 15 сборных блоков длиной по 3,5 м на клееных стыках, общей массой 2800 т поворачивали с центром вращения, совпадающим с вертикальной осью опоры, в проектное положение. После поворота балок до совпадения их продольных осей русловые консоли объединяли между собой монолитным стыком, а береговые — добетонировали до опирания их на устоях.

По характеру воздействия монтажных нагрузок на поворачиваемое пролетное строение после раскручивания метод поворота удачно сочетается с поддержкой монтируемой конструкции временными или постоянными вантами.

Впервые методом поворота вантовый мост был возведен в Австрии через Дунайский канал в Вене (рис. 2, а) с пролетами  $55,7 + 119 + 55,7$  м [3, 7]. Мост симметричными участками, вклю-

чающими береговой пролет и половину руслового пролета, бетонировали на подмостях, располагающихся по берегам параллельно каналу. По мере готовности каждую половину моста с использованием песочницы со стальным цилиндром диаметром 1,6 м (слой песка 80 мм) поворачивали в проектное положение. Песочницу опирали на железобетонную плиту, покрытую стальным листом через тefлоновую прокладку и неопреновую подушку. Масса поворачиваемого участка моста составляла 4000 т. Усилие поворота создавали гидравлическим домкратом, горизонтально расположенным и перемещаемым по криволинейному пути под концом берегового пролета. После поворота каждый участок опускали на две опорные части грузоподъемностью по 3000 т и объединяли в непрерывную конструкцию омоноличиванием стыка в середине главного пролета.

Успешным было также строительство в 1980 г. двух вантовых пешеходных мостов во Франции (мост Мелан через р. Изар у Гренобля и мост в Страсбурге). Раскружаливание конструкций, бетонированных на берегу на подмостях и установленных в проектное положение поворотом, выполняли натяжением вант [4, 7]. Балки жесткости обоих мостов в русловой части для уравновешивания масс изготовляли из легкого бетона.

Мост через р. Изар (рис. 2, б) выполнен по двухпилонной схеме. Одноплоскостная система вант в русловом пролете закреплена в балке жесткости по оси моста с устройством поперечных диафрагм, в береговых пролетах — в задней стенке устоев-противовесов. Вантовый мост в Страсбурге

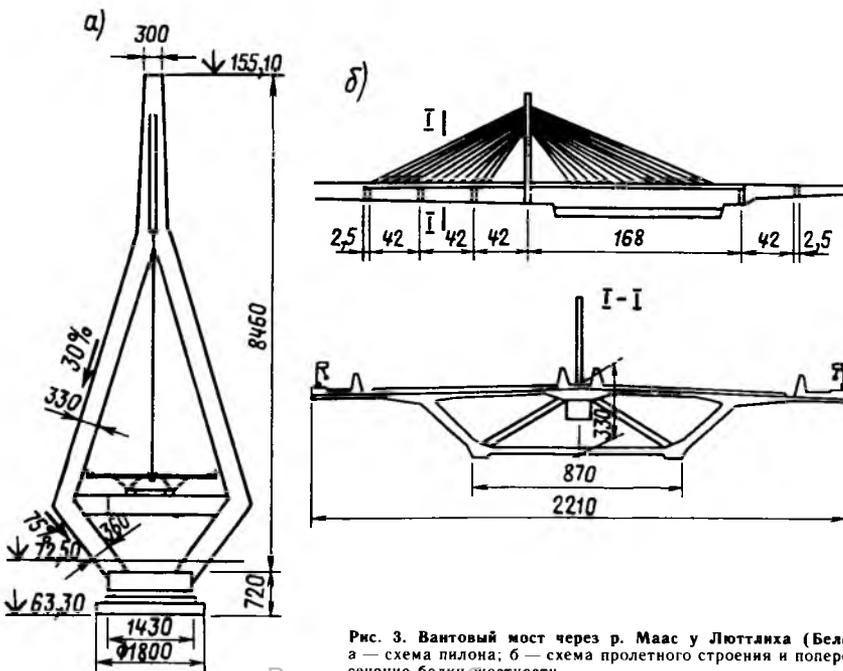


Рис. 3. Вантовый мост через р. Маас у Люттиха (Бельгия)  
а — схема пилон; б — схема пролетного строения и поперечное сечение балки жесткости

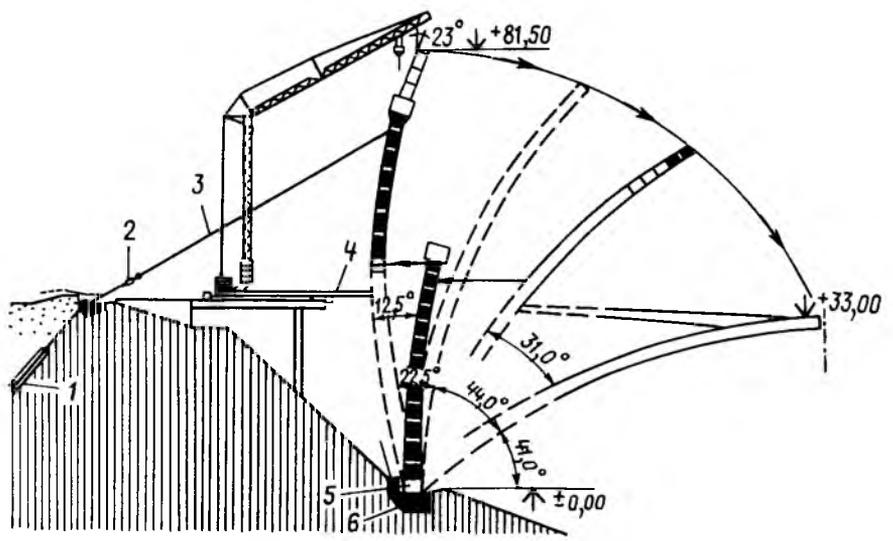


Рис. 4. Порядок бетонирования полуарки моста через р. Верхний Арген (ФРГ)  
1 — грунтовый анкер; 2 — натяжное устройство; 3 — канат-оттяжка; 4 — упорная штанга; 5 — временный шарнир в пьете арки; 6 — фундамент

(рис. 2, в) имеет однопилонную схему с пролетами 63,5 и 20 м. Балка жесткости П-образного сечения выполнена с наклонными к оси моста ребрами. Пилон высотой 24 м над уровнем проезжей части удерживает двухплоскостную систему вант, расходящуюся к ребрам балки жесткости. Ось вращения при установке пролетных строений в проектное положение в обоих случаях совпадала с осью опор, на которых возведены пилоны.

Выдающимся по конструкции и технологии сооружением является мост через р. Маас у Люттиха в Бельгии (рис. 3). Односторонняя пойма в месте перехода реки с оживленным судоходством предопределили выбор несимметричной однопилонной системы вантового пролетного строения моста и метод его монтажа [8, 9]. Полная длина моста 341 м. Русловая часть пролетного

строения длиной 168 м поддерживается одноплоскостной многовантовой системой с радиально-лучевой анкерровкой в эстакадной части, выполненной по схеме 3×42 м. Ванты огибают А-образный пилон ромбического типа высотой 93 м. Балка жесткости имеет коробчатое трапециевидальное сечение с двухконсольной верхней плитой шириной 22,1 м. В конструкции моста использовали прогрессивную схему передачи усилия от ванты к балке жесткости через систему распределительных сжатых и растянутых наклонных элементов, включающих в работу нижнюю плиту и стенки коробки. Бетонные конструкции моста напрягали арматурными элементами типа 15Т15 и 19Т15. Из 47...73 семипроволочных арматурных канатов, анкеруемых по системе Стронгольд, формировали и ванты.

Пролетное строение, включая пилон, возводили на временных подмостях с опалубкой, располагаемых на берегу параллельно реке. После монтажа вант, регулирования в них усилий и раскружаливания пролетное строение поворачивали на 70°. Для поворота конструкции между основанием пилон и верхом опоры, совпадающей с осью вращения, устраивали кольцевой путь диаметром 11,2 м. Рабочие поверхности пути выполняли из стали толщиной 40 мм, с наваренным на нее полированным листом толщиной 3 мм. Устройства скольжения состояли из неопреновой подушки толщиной 3 мм с тefлоновым покрытием в 2 мм. Горизонтальное усилие поворота, равное 2500 кН (1,5 % вертикальной нагрузки), создавали двумя гидродомкратами, расположенными друг против друга по диаметру кольцевого пути вращения.

Мост построили примерно за 18 мес. Подготовка к повороту конструкции заняла неделю, а собственно поворот

осуществлен в течение одного дня. Масса повернутого пролетного строения составила 16000 т.

Оригинальным примером достижений современной техники строительства методом поворота является шарнирно-опускной способ возведения арочного моста из монолитного бетона через долину р. Верхний Арген в ФРГ [10]. Готовую часть арок, забетонированных в вертикальном положении, устанавливали в проектное положение вращением вокруг горизонтальной оси, совмещенной с центром пятового шарнира. Такой способ работ был выбран с учетом требований защиты окружающей среды при ограниченной строительной площадке в условиях заповедной зоны. Длина моста 230 м, высота от замка до уровня воды 56 м, пролет арки 145 м.

Сооружению арок предшествовали работы по бетонированию устоев моста, береговых участков и фундаментов под пяты арок с устройством специальных шарниров (рис. 4). На первой стадии полуарку бетонировали в вертикальном положении секциями по 2,7...3,2 м на высоту 44 м, временно закрепляя ее в пяте. На второй стадии крепление в пяте ослабляли, устраивали шарнир-

ную опору и забетонированную часть полуарки отводили в сторону устоя на расстояние 13,7 м до опирания ее в береговое пролетное строение. В таком положении бетонировали следующий участок полуарки по высоте. На третьей стадии работ полуарку опускали в проектное положение, на четвертой — бетонировали замок и пяты арочного пролетного строения и демонтировали шарнирные устройства.

Темп бетонирования полуарок — секция за два дня. На опускание полуарки массой 2000 т. затрачивали три недели. Наибольшее усилие в удерживающих канатах составило 16100 кН. Надарочную часть пролетного строения возводили попутно на обычных подмостях в направлении к середине.

Приведенные примеры сооружения железобетонных мостов подтверждают эффективность метода поворота и при определенных местных условиях строительства его можно вариантно рассматривать наравне с другими известными способами монтажа пролетных строений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Placidi M. La construction d'ouvrages d'art avec mise en place rotation. La Technique

Francaise du Beton precontraint/IX Congress international de La FJP.— Stockholm, 1982.— P. 194—201.

2. Virlogeux M., Placidi M., Hirsch D. ...Le nouveau pont le Loir a'la Fleche // Travaux Juillet — Aout.— 1983.— P. 59—79.
3. Virlogeux M. Les ponts de moyenne portée // Bulletin Technique. Les Grands ouvrages en Beton precontraint. AFPS. des 24 et 25 octobre 1979.— P. 7—135.
4. Предварительно напряженный железобетон (по материалам IX Конгресса ФИП).— М.: Стройиздат, 1986.— С. 172—175.
5. Travaux.— 1986, N 606— Janvier.— P. 69.
6. VSL News Letter.— 1985.— August.— P. 19—20.
7. Предварительно напряженный железобетон (по материалам VIII Конгресса ФИП).— М.: Стройиздат, 1983.— С. 159—160.
8. Ein gigantischer Dreh Einschwenken eines Brücke in Belgien//Straßen und Tiefbau.— 1989.— 43, № 6.— S 39—40.
9. C r e m e z J. M., V e r b a k e l J. Als de Tuien Twisten//Cemert, Brussel, Jaargang JXL № 1/8, juli/augustus.— 1989.— S. 6—11.
10. Захаров Л. В. Современный уровень строительства железобетонных мостов (по материалам X Конгресса ФИП). Научно-технический сборник 22. М.: ВПИ Трансстрой, 1989.— С. 29, 38—39.

УДК 624.012.45:725.35:665.6

## Защитная стенка морской платформы в Северном море

На месторождении Экофиск в Северном море в 1979 г. была возведена железобетонная платформа с промежуточным нефтехранилищем объемом 160 тыс. м<sup>3</sup>\* с координатами 3° восточной долготы и 57° северной широты. В результате выработки месторождения проявилась просадка морского дна, которая к настоящему времени достигла 6 м. Первоначально глубина моря здесь составляла 70 м. Палубные надстройки стальных платформ, которые окружают нефтехранилище, были в 1987 г. подняты стальными проставками на 6 м. Однако, поднять палубу нефтехранилища с огромной массой перерабатывающего оборудования оказалось невозможно. В то же время воздействие волновой нагрузки становилось опасным для этого дорогостоящего сооружения, принадлежащего компании «Филипс Петролеум». Было решено возвести вокруг нефтехранилища защитную кольцевую стенку диаметром 140 и высотой 106 м.

Контракт на проектирование, строительство и установку защитной стенки

был заключен с норвежской компанией «Пеконо» 5 февраля 1988 г. Абсолютным монополистом в строительстве нефтяных железобетонных платформ в течение длительного времени была корпорация «Норведжиан Контракторс», так что «Пеконо» впервые составила ей конкуренцию, что свидетельствует о возрождении интереса к железобетону как материалу для морских платформ. Защитную стенку возводили из двух полых полуцилиндров. Днищевые части стенки до отметки +12 м бетонировали в Роттердаме (Голландия), после чего их перевозили на самоходной барже в Алферден (Норвегия), где достраивали на плаву и затем буксировали в полупогруженном состоянии к месту установки.

Сроки строительства были довольно жесткие. Стенка должна была быть установлена на месторождении летом 1989 г., через полтора года с момента подписания контракта. На возведение всего объекта было израсходовано 112 тыс. м<sup>3</sup> или 280 тыс. т высокопрочного бетона, 28,5 тыс. т ненапрягаемой

и 6,5 тыс. т напрягаемой арматуры, т. е. полная масса сооружения составила 315 тыс. т без балласта и 835 тыс. т с полным балластом. Части днища были изготовлены в Голландии с февраля по декабрь 1988 г. Расход материалов за это время составил: бетона 21,5 тыс. м<sup>3</sup>, обычной арматуры 4,3 тыс. т, напрягаемой 1,1 тыс. т. Вертикальные стенки были сооружены с января по июнь 1989 г. Использование рабочей силы в пиковые дни достигало 2 тыс. чел. Все проектирование было выполнено с использованием компьютерной техники. Нагрузки от волны с частотой повторения 100 лет могли достигать на отдельных участках 10 МН/м (1000 тс/м). Наиболее опасным признан случай, когда воздействию подвергается свободностоящий полуцилиндр до замыкания со второй половиной. Суммарная нагрузка на дно составила 0,5 млн. тс, опрокидывающая горизонтальная нагрузка на сооружение от столетней волны — 1777 МН (177700 тс), что почти вдвое превышает расчетную нагрузку на любую из ныне существующих морских железобетонных платформ, а расчетный опрокидывающий момент — соответственно 86000 МНм (8,6 млн. тм).

Для выравнивания нагрузки после установки под днище стенки был подан

раствор, и стенка была дополнительно балластирована песком. Стык двух полуцилиндров, из которых состоит защитная стенка после того, как они охватили платформу, выполняли с помощью зубчатого соединения, а его неразъемность обеспечивалась вертикальными стальными листами с симметричной анкерной типа ласточкиного хвоста.

Масса днищевой части полуколыца в момент ее транспортирования составляла 27 тыс. т. В Норвегии обе половинки, соединенные с берегом общим пирсом, бетонировали на плаву одновременно. До отметки +83 м, т. е. часть, которая после установки в море будет находиться под водой, выполняли монолитной и далее до отметки +105 м — из сборных элементов. Установленные по окружности 48 сборных элементов имели массу 300 т каждый. Скорость перемещения опалубки составляла 3 м, что соответствовало подаче бетона в объеме 1200 м<sup>3</sup> в сутки. Монолитную часть бетонировали в течение 3 мес. В процессе бетонирования сооружение балластировали и погружали в воду. Надводный борт имел высоту примерно 3 м. Причем, при бетонировании днища до отметки +19 м собственной плавучести у сооружения не хватало и она обеспечивалась дополнительными поплавами. Стройплощадку обслуживали шесть кранов. Высота опалубки составляла всего 1,1 м, ее площадь — 1565 м<sup>2</sup>. Она перемещалась с помощью 200 дом-

кратов. 28 марта 1989 г. бетонирование было закончено.

Для создания плавучести два полуцилиндра имели внутренние полости и большое число диафрагм, которые, как наружная и внутренняя стены, были насыщены арматурой и каналами для пропуска напрягаемой арматуры. В процессе бетонирования в диафрагмах появились многочисленные волосяные трещины, в местах расположения анкеров частично — выколы бетона. Все дефекты были отремонтированы эпоксидной смолой. Продолжительность ремонта составила 8 недель, но окончательные сроки готовности отодвинуты не были. После всех работ первый полуцилиндр был отбуксирован от берегов Норвегии на месторождение Экофиск. Дистанция буксировки в 310 морских миль (1 миля — 1852 м) была выполнена 16 буксирами общей мощностью 180 тыс. лошадиных сил с суммарным тяговым усилием 2100 т и заняла 9 сут. Сооружение в момент буксировки имело осадку 65 м и водоизмещение каждой из половин 190 тыс. т. (Для сравнения: водоизмещение крупнейших пассажирских судов за рубежом 50...60, в СССР — 25...30 тыс. т). Морские операции по соединению двух половин в цилиндрическую защитную стенку вокруг резервуара заняли несколько дней. Их проведение было осложнено наличием нескольких добычных платформ, близко окружающих нефтяной резервуар и соеди-

ненных с ним технологическими мостами. Морское дно на месте установки было выровнено подводным бульдозером с точностью 10 см. После установки и соединения защитной стенки ее окончательно балластировали песком в объеме 332 тыс. м<sup>3</sup>. Интересно отметить, что вертикальные стыки после установки соединяющих внешних стальных пластин были заполнены сталефибробетоном, объем которого составил 3,5 тыс. м<sup>3</sup>, причем его уплотнение выполнялось под водой.

Таким образом, норвежскими инженерами было выполнено выдающееся сооружение.

Отечественная строительная практика бедна интересными инженерными объектами за последние годы. Проектировщики и ученые-строители сорентированы на «экономия материальных ресурсов», причем нередко в отрыве от обеспечения надежности и долговечности конструкций. Отсутствие крупных инженерных достижений сказывается на престижности профессии, притоке талантов и ассигнованиях на науку, которая становится придатком административной системы.

Остается надеяться на перестройку и в этой области строительной деятельности в нашей стране.

Ю. С. ВОЛКОВ, канд. техн. наук  
(НИИЖБ)

## В порядке обсуждения

УДК 691.87:693.554

А. В. ЖДАНОВ, Б. А. ОДНОЛЬКО, инженеры (АСО-1 ГПИ-4)

## К расчету поперечной арматуры

Напряжение в хомутах рассматриваемой в примере балочки оказалось значительно выше предельного значения и достоверность такого результата была поставлена под сомнение [1]. Это означает, что при расчете на прочность приняли недостаточное число хомутов или напряжения в хомутах определили по формуле (153) неверно. Но поскольку в обоих случаях требования норм строго соблюдены, то можно предположить наличие несоответствия в самой методике расчета.

Оно заключается в том, что формулы (82) и (153) расходятся в фундаментальном вопросе о длине проекции опасной наклонной трещины на продольную ось элемента, по которой затем произойдет его разрушение. При расчете на прочность работа хомутов учитывается на длине  $C_0 \leq 2h$ , а при определении напряжений — на длине  $C_0 = h_0$ . Для устранения этого несоответствия, затрудняющего расчет, следовало бы внести изменения в СНиП.

Имея в виду, что в большинстве

зарубежных норм длину проекции опасной наклонной трещины принимают равной рабочей высоте сечения, а также учитывая выводы, сделанные в источнике [2], авторы предлагают формулу (80) из СНиПа исключить, а зависимость (82) записать в виде  $Q_{sw} = q_{sw} h_0$ .

### Библиографический список

1. Жданов А. В., Однолько Б. А. Расчет поперечной арматуры в железобетонных элементах // Бетон и железобетон.— 1989.— № 7.— С. 41—42.
2. Залесов А. С., Максимов Ю. В. Исследование ширины раскрытия наклонных трещин в изгибаемых // Бетон и железобетон.— 1988.— № 3.— С. 25—27.

# Рефераты статей, опубликованных в номере

УДК 666.965.2.004.14:669.2/8

Гузеев Е. А., Борисенко В. М., Спатаев И. О. **Щелочесиликатный бетон для соле-морозостойких конструкций** // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 4—6.

Приведены результаты исследования прочности и деформативности щелочесиликатного бетона при воздействии воды, различных растворов солей и знакопеременных температур. Предложены аналитические выражения для описания диаграмм деформирования щелочесиликатного бетона, в том числе в жидких агрессивных средах. Показано, что щелочесиликатный бетон является эффективным материалом для создания соле-морозостойких конструкций и изделий.— Ил. 2, табл. 1.— Библиограф.: 2 назв.

УДК 691.327.33

**Ячеистые бетоны из промышленных отходов.** Б. О. Багров, Т. Д. Васильева, П. А. Садовский и др. // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 6—7.

Приведены результаты опытно-промышленного опробования утилизации отходов промышленности: гальванических шламов, осадка Люберецкой станции аэрации и зольно-шлаковой смеси Бурштынской ГРЭС. Показана технологическая возможность применения этих отходов при изготовлении газобетона на смешанном вяжущем.— Ил. 1, табл. 3.— Библиогр.: 1 назв.

УДК 69.057.7:621.867

**Применение каскетно-конвейерных линий при реконструкции производств КПД** / В. В. Цыро, В. И. Сохряков, А. И. Барехов и др. // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 8—10.

Приведены объемы внедрения каскетно-конвейерных линий различной конструкции и условия их применения на заводах КПД с различной шириной пролетов. Показаны преимущества линий, разработанных СКТБ Стройиндустрия Минсвезапстроя РСФСР, и пути их дальнейшего совершенствования.— Ил. 1, табл. 1.

УДК 057.7:621.867

Ермолаева Н. Н., Кенкишвили Т. М. **Влияние деформаций штов на усилие в связях каскетных форм при формовании** // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 10—11.

Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных в производственных условиях на каскетно-конвейерной линии, по определению характера нагружения связей штов в процессе формирования панелей методом подвижных штов. Представлены зависимости усилий в верхних и нижних связях от уровня заполнения формы, а также величина и характер роста усилий в связях при заполнении бетонной смесью соседних отсеков.— Ил. 3, табл. 1.

УДК 692.44:725.353

**Возведение тонкостенного монолитного купола с помощью пневмоопалубки** / Б. И. Петраков, И. Н. Искандеров, В. И. Селиванов, А. С. Никитин // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 12—13.

Описано возведение первого в нашей стране тонкостенного монолитного железобетонного купола диаметром 21 м, высотой 6,1 м с помощью пневмоопалубки. При возведении купольной оболочки достигнуты следующие технико-экономические показатели в расчете на единицу полезной площади: трудоемкость — 1,26 чел.-дн., расход бетона 0,08 м<sup>3</sup>, стали 6,3 кг; стоимость — 23,7 р.— Ил. 1, табл. 1.— Библиогр.: 1 назв.

УДК 693.554.6:621.791

Шапиро И. С., Сидлин З. А., Куликов Г. А. **Повышение эффективности использования контактных машин** // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 13—15.

Предложен процесс изготовления электродов контактной сварки путем наплавки специальными штучными электродами на заготовки из технической меди. Разработанные штучные электроды можно также использовать для восстановления изношенных электродов для контактной сварки.— Ил. 3.— Библиогр.: 3 назв.

УДК 624.072.2/3

Хайдуков Г. К., Волков И. В., Лачинов М. М. **Работа стеклофибробетонных тонкостенных элементов при длительном действии нагрузки** // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 15—17.

Приведены результаты испытаний стеклофибробетонных образцов, в том числе с комбинированным армированием при длительном действии нагрузки в условиях нормальной и повышенной влажности. Показано снижение прочности и трещиностойкости стеклофибробетона и дан способ расчета при длительном нагружении.— Ил. 3.— Библиогр.: 3 назв.

УДК 624.012.45:543.32

Суров К. Л., Нурмаганбетов Е. К. **Определение универсальных жесткостных параметров железобетонных конструкций** // Бетон и железобетон.— 1990.— № 9.— С. 18—19.

Рассмотрено определение секущего модуля деформации бетона (интегрального параметра деформации) в сложных напряженных состояниях (с учетом компонента тензора напряжений, нелинейности деформирования, армирования, трещинообразования, ползучести бетона и режима нагружения). Применение представленных зависимостей рекомендуется при расчетах двухосно- и трехосно-напряженных железобетонных конструкций.— Табл. 3.— Библиогр.: 6 назв.

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

Технический редактор *Е. Л. Сангурова* Корректор *Н. А. Шатерникова*

Сдано в набор 26.07.90. Подписано в печать 17.08.90. Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Печать офсетная. Бумага книжно-журнальная. Усл. печ. л. 4,0.  
Усл. кр.-отт. 4,75. Уч.-изд. л. 5,7. Тираж 13 396. Зак. 6164. Цена 60 коп.

Адрес редакции:

Москва, Георгиевский пер., 1, строение 5, 3-й этаж

Почтовый адрес редакции (экспедиция): 101442, Москва, ГСП, Каляевская, 23 а

Тел. 292-41-34, 292-62-05

Набрано на ордена Трудового Красного Знамени Чеховском полиграфическом комбинате Государственного комитета СССР по печати. 142300, г. Чехов Московской обл.

Отпечатано в Подольском филиале ПО «Периодика» Государственного комитета СССР по печати.

142110, г. Подольск, ул. Кирова, 25

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Шифр	Наименование	До- го- вор- ная цена	Шифр	Наименование	До- го- вор- ная цена
9.5.	Рекомендации по тепловлажностной обработке железобетонных изделий в ямных гидроаэроциркуляционных камерах	170	14.2.	Рекомендации по применению бетонов на напрягающем цементе в монолитном и сборно-монолитном строительстве	120
10.2.	Рекомендации по применению арматурной стали винтового профиля	100	16.1.	Рекомендации по технико-экономической оценке способов изготовления железобетонных конструкций и изделий	500
10.3.	Рекомендации по применению в железобетонных конструкциях эффективных видов стержневой арматуры	360	16.2.	Рекомендации по определению расчетной стоимости, трудоемкости и энергоемкости стыковых и узловых соединений сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций на стадии проектирования	500
11.2.	Рекомендации по применению и проектированию конструкций и изделий из ячеистого бетона с напрягаемой арматурой	180	16.3.	Рекомендации по усредненным нормам расхода цемента на 1 м <sup>3</sup> бетона и строительного раствора в конструкциях и изделиях	240
11.3.	Рекомендации по ремонту ячеистобетонных стен жилых и промышленных зданий	420	16.4.	Рекомендации по определению экономической эффективности обследования и усиления железобетонных конструкций на действующих предприятиях	190
13.1.	Рекомендации по определению агрессивности грунтов по отношению к бетону фундаментов в районах вечной мерзлоты	100	16.6.	Рекомендации по определению величины трудноустраняемых потерь цемента при производстве бетона и железобетона	120
13.2.	Рекомендации по назначению проектных марок бетона по морозостойкости	180	16.7.	Рекомендации по определению экономической эффективности обеспечения и повышения огнестойкости железобетонных конструкций	130
13.3.	Рекомендации по определению коррозионной стойкости цемента и бетона в агрессивных сульфатных средах	120			
13.4.	Рекомендации по методам определения коррозионной стойкости бетона	120			
14.1.	Рекомендации по проектированию и возведению самонапряженных емкостей	120			

## КОНФЕРЕНЦИИ, СОВЕЩАНИЯ, СЕМИНАРЫ, ПРОВОДИМЫЕ В 1990 Г.

Тема	Место проведения, организация, ответственный, адрес, телефон	Время проведения
Развитие технологии изготовления и применения железобетонных напорных и безнапорных труб	Минеральные Воды, ВНПО «Союзжелезобетон», 111524, Москва, ул. Плеханова, 7, тел. 176-28-05, 176-29-98	Сентябрь, 4 дня
Совершенствование работы заводской лаборатории предприятий стройиндустрии	Челябинск. Уральский Дом экономической и научно-технической пропаганды (454000, Челябинск, ул. Плеханова, 32, тел. 37-73-31)	Октябрь, 2 дня
Бетоны на основе золы и шлаков ТЭС и комплексное их использование в строительстве	Новокузнецк, Сибирский металлургический институт им. С. Орджоникидзе (654053, Новокузнецк-53, Кемеровской обл., ул. Кирова, 42, тел. 46-34-56, 47-19-47)	Сентябрь, 4 дня

(продолжение см. на 4-й стр. обложки)

Тема	Место проведения, организация, ответственный, адрес, телефон	Время проведения
Неразрушающие физические методы и средства контроля (акустические, электромагнитные, капиллярные, тепловые и др.)	XII конференция, г. Свердловск, Институт физики металлов УрО АН СССР, 620219, г. Свердловск обл., ГСП-170, ул. С. Ковалевской, 18, тел. 44-43-82, Научный совет АН СССР по проблеме «Неразрушающие физические методы контроля»	Сентябрь, 3 дня
Механика разрушения	III симпозиум, Житомир, Институт проблем прочности АН СССР, 252014, Киев-14, ул. Тимирязевская, 4, тел. 296-39-57	Октябрь, 3 дня
Научные основы создания энергосберегающей технологии и техники	Москва, Московский энергетический институт, 105835, Москва, ГСП, ул. Красноказарменная, 14, тел. 362-74-58, 362-17-03	Октябрь—ноябрь, 3 дня
Проблемы технического развития производства и охрана окружающей среды	Конференция, г. Сумы, НПО им. Фрунзе, 244004, г. Сумы, ул. Горького, 58, тел. 29-73-25	Сентябрь, 3 дня
Состояние и перспективы развития производства и потребления ПАВ в СССР и за рубежом	Г. Щебекино, НПО «Синтез ПАВ», 309250, Белгородская обл., г. Щебекино, Ржевское шоссе, 16, тел. 7-73-71, ЦНИИТЭнефтехим, тел. 233-16-02	Ноябрь, 3 дня
Крупнопанельное домостроение: проблемы и перспективы	Волгоград, ЦП ВНТО строительной индустрии, 103062, Москва, Подсосенский пер., 25, тел. 297-97-89	Сентябрь, 3 дня
Развитие производства изделий из ячеистого бетона	Челябинск, Уральский Дом экономической и научно-технической пропаганды, 454000, Челябинск, ул. Плеханова, 32, тел. 37-73-31	Ноябрь, 2 дня
Информационное обеспечение патентно-конъюнктурных исследований при разработке конкурентоспособной продукции	Москва, Сводный отдел информации Госкомизобретений, тел. 921-49-66, ВЦПУ, 117279, Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, 55 а, тел. 330-10-83	Ноябрь, 3 дня
Новые формы совместного предпринимательства в инновационной сфере	Ярославль, Межведомственный научный совет ГКНТ СССР, АН СССР, Гособразования СССР и союза НИО СССР «Хозяйственный механизм и управление научно-техническим прогрессом в СССР», 103905, Москва, ул. Горького, 12, тел. 257-11-32	Сентябрь, 3 дня