

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

**3 · 1982**

1-12

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

ОРГАН ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА СССР  
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА

ИЗДАЕТСЯ с апреля 1955 г.

## Содержание

### Решения XXVI съезда КПСС — в жизнь!

<i>Коротков С. Н.</i> Пути экономии энергоресурсов при производстве железобетона	2
<i>Объезченко Г. А.</i> Резервы экономии тепловой энергии при производстве сборного железобетона	4
<i>Ленский С. Е., Беккер Л. Н., Цесельский М. М.</i> Экономичные пропарочные камеры ямного типа	6
<i>Малинина Л. А.</i> Снижение энергозатрат путем рационального выбора цемента	8
<i>Фоломеев А. А.</i> Вопросы нормирования энергозатрат при производстве сборного железобетона	9
<i>Горяйнов К. Э., Счастный А. Н., Слепокуров Е. И., Пинсон Э. Б., Костенко Б. И.</i> Тепловлажностная обработка изделий в продуктах сгорания природного газа	11
<i>Лагойда А. В., Королев Н. А.</i> Введение добавок — путь к сокращению энергозатрат	13
<i>Шульман Ф. Р.</i> Оптимизация режимов производства и потребления тепловой энергии	14
<i>Сенцев В. Г.</i> Повысить эффективность использования энергии при производстве железобетона	16
<b>Трибуна соревнующихся</b>	
<i>Матвеев А. В.</i> Экономно и рационально использовать ресурсы	17
<b>Конструкции</b>	
<i>Аояги Ю., Самойленко В. Н.</i> Работа изгибаемых элементов при действии низких температур	19
<b>Бетоны</b>	
<i>Александровский С. В.</i> Ползучесть и особенности работы автоклавных ячеистых бетонов в условиях Крайнего Севера	21
<i>Курамбаев Б.</i> Улучшение свойств бетона в условиях сухого жаркого климата с помощью пластификаторов	24
<i>Чернов А. Н.</i> Вариатропный ячеистый бетон переменной плотности	25
<b>Заводское производство</b>	
<i>Бубело В. В., Паршенцев Н. В., Никулин И. В.</i> Уровнемер для емкостей длительного хранения цемента	26
<i>Ратц Э. Г., Гольдинберг Г. Б., Каплан М. Б., Рабинович Е. М.</i> Опыт применения замкнутых строповочных петель	27
<i>Корнюшин Г. М.</i> Универсальная конвейерная линия для производства несущих панелей перекрытий	28
<i>Холопова Л. И., Веселова С. И.</i> Цветной гранулированный материал для отделки стеновых панелей из ячеистого бетона	29
<i>Брауде Ф. Г., Осмаков С. А., Голубенков В. А.</i> Виброударное формование изделий из песчаных бетонов	30
<b>Строительное производство</b>	
<i>Воронков Р. В., Маврин А. И., Родионова В. В., Баторевич Н. И.</i> Возведение монолитных конструкций без применения опалубки	32
<i>Данилов Н. Н., Наумов С. М., Гасанов К. А.</i> Кондуктивный разогрев бетонной смеси в технологии зимних работ	34
<b>В помощь проектировщику</b>	
<i>Крылов С. М., Маилян Л. Р.</i> Влияние распределения арматуры на свойства неразрезных балок	36
<i>Гвоздев А. А., Залесов А. С., Зиганшин Х. А.</i> Прочность элементов с двузначной эпюрой моментов на действие поперечных сил	38
<i>Полицук В. П.</i> Расчет сборно-монолитных конструкций по образованию нормальных трещин с учетом неупругих деформаций	40
<b>Использование промышленных отходов</b>	
<i>Медведев В. М., Сергеев А. М., Емец В. П.</i> Применение шлаков ТЭС для улучшения качества бетонов	41
<b>Долговечность</b>	
<i>Миронов С. А., Иванова О. С., Журавлева Л. Е.</i> Стойкость бетона при циклических колебаниях низких температур	42
<i>Тихомирова М. Ф.</i> Агрессивность сульфатных растворов в зависимости от вида катиона	43

3

323

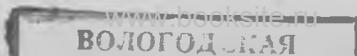
март 1982



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ  
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

Москва

© Стройиздат, 1982



*Ускорить разработку и внедрение энергосберегающих технологий в производстве цемента, стекла, извести, экономичных методов тепловой обработки железобетона, обжига керамических изделий, эффективных способов изоляции тепловых агрегатов и использования вторичного тепла.*

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года

УДК 691.328:69.055:620.9.004.18

С. Н. КОРОТКОВ, канд. техн. наук (ВНИИКТЭП при Госплане СССР)

## ПУТИ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Проблема повышения эффективности производства и потребления энергоресурсов приобретает в настоящее время особую значимость. Экономия ресурсов является одним из важнейших направлений развития народного хозяйства в одиннадцатой пятилетке.

Анализ норм и фактических расходов топлива и энергии на производство важнейших видов продукции (работ) в строительных министерствах и ведомствах СССР, на предприятиях и стройках показывает, что они разрабатываются в настоящее время в основном отчетно-статистическим методом, значительно завышены и не дают возможности вскрыть резервы экономии топливно-энергетических ресурсов. Выполненные во Всесоюзном научно-исследовательском институте комплексных топливно-энергетических проблем (ВНИИКТЭП) при Госплане СССР исследования, а также тщательный анализ и обобщение материалов строительных министерств и ведомств и работ научных и проектных организаций позволили создать единые для всех предприятий и строек страны научные основы рационального использования и экономии энергоресурсов в производстве сборного и монолитного железобетона. Они включают в себя обоснования и разработку энергосберегающих технологий при одновременном улучшении качества изделий и экономии цемента, совершенствование системы организации управления и планирования использования энергоресурсов и методики определения резервов их экономии. При этом эффективность использования энергоресурсов рассматривается как один из основных критериев обоснования выбора способа производства изделий или внедрения технологического процесса, а главным критерием эффективности является удельный расход использования энергии на единицу продукции.

В соответствии с разработанной методикой резервы экономии топлива и энергии определяются поэтапно, а затем устанавливаются первоочередные задачи по их реализации.

На первом этапе анализируется фактический расход топлива и энергии конкретными потребителями, производится его сравнение с проектным [расчетным] и расходом на аналогичных передовых отечественных и зарубежных предприятиях. Определяются научно обоснованные общезаводские [отраслевые] нормы расхода топлива и энергии при действующих технологиях, на энергопотребляющих машинах, установках и объектах. Выявляются причины непроизводительных потерь и увеличения за счет этого фактических расходов топлива и энергии против проектных, а разница между ними, помноженная на объем производства продукции [работы], представляет собой резерв экономии топливно-энергетических ресурсов предприятия [отрасли].

На втором этапе определяются резервы экономии и снижения норм расхода топлива и энергии путем совершенство-

вания технологий и модернизации энергопотребляющих машин, оборудования, установок и объектов или замены их новыми энергосберегающими, а также использования вторичных энергоресурсов (тепла вентиляционных выбросов, утилизации конденсата и т. п.).

На третьем этапе определяются возможное снижение норм расхода и резервы экономии топлива и энергии за счет внедрения принципиально новых энергосберегающих технологий, установок и других достижений научно-технического прогресса.

Такой методологический подход позволил вскрыть значительные резервы экономии энергоресурсов в промышленности сборного железобетона и включить основные мероприятия по их реализации [1—3] в целевую комплексную программу (ЦКП), разработанную ВНИИКТЭП по поручению Госплана СССР. Предусмотренные ЦКП мероприятия, возможные объемы экономии и уровни снижения фактических расходов энергоресурсов учитывают последние разработки научно-исследовательских и проектных организаций [4, 5].

Сборный и монолитный бетон и железобетон, а также цемент относятся к наиболее энергоемким видам продукции строительства. На их производство расходуется более 40 млн. т усл. топлива, или более 35% всех топливно-энергетических ресурсов, потребляемых предприятиями строительных материалов и стройками страны.

Только на заводах сборного железобетона на технологические цели, отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию расходуется около 12 млн. т усл. топлива, причем обладающей является тепловая энергия. ЦКП предусматривает мероприятия, направленные в первую очередь на экономию тепла за счет внедрения энергосберегающих технологий, модернизации энергопотребляющих установок, повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий и использования тепла вентиляционных выбросов.

В то же время необходимо подчеркнуть, что тепловая и электрическая энергия на многих предприятиях и стройках используется недостаточно эффективно. Работа по экономии энергоресурсов ведется непланово и сводится к проведению отдельных недостаточно обоснованных мероприятий; не анализируются данные об энергопотреблении предприятия и стройки в целом. Технологи, как правило, не участвуют в составлении мероприятий по экономии энергоресурсов, поэтому нагрев бетона ведется при более высоких температурах и с большей продолжительностью, чем необходимо; редко используются энергосберегающие технологии. На предприятиях сборного железобетона страны в 1980 г. расходовалось в среднем около 468,8 тыс. ккал/м<sup>3</sup> при расчетной норме не более 290 тыс. ккал/м<sup>3</sup>, а на отдельных предприятиях расходы достигают 800—900 и более тыс. ккал/м<sup>3</sup>.

Непроизводительные потери тепловой энергии составляют

на предприятиях в среднем более 35% общего ее расхода (около 180 тыс. ккал/м<sup>3</sup>). Основными причинами потерь являются необоснованное увеличение температуры и продолжительности нагрева изделий, значительные утечки пара, отсутствие изоляции горячих поверхностей установок, сетей, арматуры, разрушение или увлажнение изоляции и т. д. Эти непроизводительные потери тепловой энергии могут быть устранены в течение 3—4 лет после проведения общих эксплуатационно-организационных мероприятий, для которых не требуется дополнительных капиталовложений.

Одновременно с этим следует усилить теплозащиту действующих энергопотребляющих установок и оснастить их автоматизированными системами управления. Однако, как справедливо отмечалось [4], никакая теплоизоляция положения не поправит, если эксплуатация камер не будет осуществляться на высоком техническом уровне, с проведением регулярных профилактических ремонтов, что позволяет избежать потерь тепла в процессе прогрева изделий.

Расчеты показали [1—3], что общезаводские и среднеотраслевые нормы расхода тепловой энергии предприятий, министерств и ведомств не должны превышать 270—290 тыс. ккал/м<sup>3</sup>. Более высокие общезаводские и отраслевые расходы тепловой энергии предприятий, министерств и ведомств должны быть снижены в течение текущей пятилетки до расчетных за счет устранения на предприятиях непроизводительных потерь.

Необходимо в кратчайшие сроки на всех без исключения предприятиях составить подробный тепловой баланс — учесть все статьи затрат, выявить объемы непроизводительных потерь, наметить конкретные мероприятия и сроки их выполнения, а также указать величины удельных расходов тепловой энергии, которые будут достигнуты в результате этого.

Устранение непроизводительных потерь тепловой энергии на предприятиях и снижение ее расхода с 468,8 до 290 тыс. ккал/м<sup>3</sup> должно служить критерием оценки работы энергослужб и руководства предприятий, министерств и ведомств. Только за счет этих мероприятий можно сэкономить за один год около 4 млн. т усл. топлива по сравнению с 1980 г.

Одновременно следует внедрять энергосберегающие технологии, которые допускают снижение температуры нагрева бетона на портландцементях с 85—100 до 60—70°C и ниже и продолжительности нагрева с 8—12 до 4—6 ч с последующим термосным его остыванием в течение 14—16 ч. Сюда же можно отнести применение химических добавок (включая комплексные и суперпластификаторы), использование солнечной и электрической энергии, продуктов сгорания природного газа для нагрева бетона и безобогревные методы производства изделий.

Работы по модернизации энергопотребляющих установок (их теплоизоляция и оснащение контрольно-измерительной аппаратурой), повышению теплозащиты ограждающих конструкций зданий и использованию тепла вентиляционных выбросов должны проводиться в первую очередь на реконструируемых и вновь строящихся предприятиях, а также при осуществлении капитального ремонта камер. На этих предприятиях необходимо предусматривать эффективные пропарочные камеры с расходом тепловой энергии в пределах 40—100 тыс. ккал/м<sup>3</sup>, разработанные ВНИИЖелезобетоном совместно с ПИ-2 Госстроя СССР и Гипростроммашем [5]. Общезаводские расходы энергии на таких предприятиях не должны превышать 175 тыс. ккал/м<sup>3</sup>. Госстрою СССР следовало бы не допускать ввод в эксплуатацию новых и реконструируемых предприятий с общезаводским расходом тепловой энергии выше этого предела, а на действующих предприятиях установить допустимые пределы общезаводских и отраслевых расходов тепловой энергии, которые с 1985 г. не должны превышать расчетных 290 тыс. ккал/м<sup>3</sup>.

В соответствии с «Основными положениями по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве», утвержденными Госпланом СССР в 1979 г., необходимо в кратчайший срок разработать единые для министерств и ведомств нормативные документы, регламентирующие устранение непроизводительных потерь энергоресурсов, с научно обоснованным их нормированием.

Планирование напряженных, но реальных норм расхода тепловой и электрической энергии будет способствовать освоению новых технологических режимов, распространению передового опыта, повышению уровня использования оборудова-

ования, экономии и сокращению потерь ресурсов. Оно будет способствовать мобилизации коллективов на упорядоченные энергопотребления, разрывание работ по совершенствованию технологии и модернизации энергопотребляющих установок и устройств.

Исследования и расчеты показали, что при устранении на предприятиях непроизводительных потерь тепла, внедрении энергосберегающих технологий, модернизации энергопотребляющих установок среднеотраслевой расход тепловой энергии может быть снижен с 468,8 тыс. до 175 тыс. ккал/м<sup>3</sup>. Достижение указанного расхода тепловой энергии на производство 1 м<sup>3</sup> бетона или железобетона является конечной целью ЦКП, направленной на повышение эффективности использования энергоресурсов и их экономии на предприятиях промышленности сборного железобетона. Это поможет сэкономить около 8 млн. т усл. топлива по сравнению с существующим уровнем, или более 1,3 млрд. р. капиталовложений, необходимых на его добычу, переработку и транспортирование.

Серьезные изменения должны быть внесены в существующую систему нормирования энергоресурсов на строительномонтажные работы, составной частью которых является производство монолитного бетона и железобетона. Так, по нормам Минпромстроя СССР, технологический расход электроэнергии на нагрев 1 м<sup>3</sup> бетона составляет 105 кВт·ч. По другим данным, в зависимости от массивности конструкций на электронагрев бетона, обогрев в греющей опалубке и с помощью греющих матов расходуется от 35 до 195 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Расчеты показывают, что среднеотраслевая норма расхода электроэнергии на нагрев бетона не должна превышать 75—85 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Особенно остро встает вопрос о снижении потерь цемента как одного из самых энергоемких видов строительных материалов. По оценке специалистов, в настоящее время нерационально используется около 12,5% общего объема выпуска цемента, или около 17 млн. т. Если учесть, что на производство 1 т цемента расходуется около 200 кг усл. топлива, то при его потерях одновременно теряется около 3,5 млн. т усл. топлива.

Необходимо существенно расширить объем применения зол и шлаков ТЭС и других промышленных отходов в качестве вяжущих и мелких заполнителей при приготовлении бетонов и растворов, обеспечивающих снижение расхода цемента до 10—30%. Следует также пересмотреть действующие типовые нормы расхода цемента.

Для широкого внедрения энергосберегающих технологий, распространения передового опыта предприятий и строек по экономии энергоресурсов и цемента необходимо указывать не только процент снижения и показатели экономии топлива, энергии и цемента, но в обязательном порядке приводить агрегатные и общезаводские (отраслевые) фактические расходы топливно-энергетических ресурсов и цемента, достигнутые за счет внедрения конкретных мероприятий. Публикуемые многими авторами данные по экономии топлива, энергии и цемента в процентах или в абсолютных показателях без указания фактических агрегатных и общезаводских (отраслевых) расходов на 1 м<sup>3</sup> железобетона не дают возможности судить о прогрессивности разработки или рациональном использовании материальных ресурсов на предприятии и стройке.

Требования экономики сегодняшнего дня таковы, что энергетическая эффективность должна стать одним из основных критериев обоснования выбора способов производства сборного и монолитного железобетона и бетона, а важнейшим критерием эффективности использования энергоресурсов на предприятиях и стройках должен стать фактический их расход на единицу продукции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков С. Н. Пути экономии энергоресурсов при производстве сборного железобетона. — Экономика строительства, 1980, № 3.
2. Коротков С. Н. О повышении эффективности использования энергоресурсов и их экономии при производстве сборного и монолитного железобетона. — Промышленное строительство, 1980, № 4.
3. Коротков С. Н. Единые нормативные документы потребления энергоресурсов — путь экономии топлива и энергии. — Экономика строительства, 1981, № 5.
4. Крылов Б. А. Пути экономии энергетических затрат при производстве сборных железобетонных изделий. В кн.: Пути снижения энергозатрат в промышленности сборного железобетона. МДНТП, М., 1981.
5. Чумаков Ю. М. Вклад в развитие заводской технологии сборного железобетона. — Бетон и железобетон, 1981, № 6.

## Резервы экономии тепловой энергии при производстве сборного железобетона

За последние пять лет расход тепловой энергии в промышленности сборного железобетона остается практически неизменным и составляет 465—470 тыс. ккал на 1 м<sup>3</sup> железобетона, в то время как на передовых заводах этот показатель не превышает 300 тыс. ккал/м<sup>3</sup>. Таким образом, в промышленности сборного железобетона имеются возможности для существенного снижения расхода тепловой энергии и экономии топливно-энергетических ресурсов.

эксплуатационные потери, которые обуславливаются утечками пара через различного рода неплотности в камерах, запорной арматуре, фланцевых соединениях, потерями тепла в изолированных технологических паропроводах и т. д. [2, 3].

Вследствие этого производительность котельных промышленных предприятий, как правило, бывает недостаточной для поддержания заданного давления пара в котлоагрегатах и у потребителей. Вели-

Основные направления экономии энергии сводятся к нормализации и оптимизации теплового баланса камер. Основу такой нормализации составляют разработанные ВНИИЖелезобетоном и НИИЖБом «Временные нормы для расчета расхода тепловой энергии при тепловлажностной обработке сборных бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях» (СН 513-79). Сравнение нормативных значений расхода тепловой энергии с фактическими дает возможность заводам сборного железобетона определить резервы экономии и обоснованно разработать план мероприятий, направленных на устранение причин перерасхода тепловой энергии. Этот план должен предусматривать организацию системы контроля и учета расхода тепловой энергии; повышение тепловой и гидравлической устойчивости систем теплоснабжения установок ускоренного твердения бетона; усиление паронепроницаемости теплоиспользующих установок, магистралей и распределительных сетей; регулирование параметров теплоносителя за счет применения средств автоматизации.

Осуществление указанных мероприятий на заводах отрасли позволит повысить использование тепловой энергии в установках ускоренного твердения бетона с 17 до 25% и тем самым сэкономить более 100 тыс. ккал на 1 м<sup>3</sup> продукции. Дальнейшее снижение теплотребления за счет сокращения сопутствующих расходов и потерь, вызванных несоблюдением режимов тепловой обработки бетона в составе общего расхода тепла, дает оптимизация энергобаланса завода путем коренной реконструкции пропарочных камер, внедрения эффективных режимов, энергосберегающих технологий и применения наиболее выгодных энергоносителей.

Большой сопутствующий расход тепла в камерах периодического и непрерывного действия обусловлен неудачной их конструкцией и низкими теплотехническими свойствами материала ограждений. По установившейся традиции, ограждения пропарочных камер выполняются из тяжелого бетона, коэффициент теплопроводности которого достаточно высок и в среднем составляет 2 ккал/(м×

Таблица 1

Тепловой баланс	Расход тепла на технологические цели, тыс. ккал/м <sup>3</sup>			Расход тепла на вспомогательные цели, тыс. ккал/м <sup>3</sup>	
	Тепловая обработка	Подогрев заполнителей	Подогрев эмульсола	Отопление и вентиляция	Общезаводские нужды
Фактический	326,9	16,4	7	60,7	56
	70	3,5	1,5	13	12
Оптимальный	80	12	5	45	43
	43,2	6,9	2,6	24,2	23,1

Примечание: Над чертой — абсолютные показатели, под чертой — процент от общего теплотребления.

В табл. 1 представлены тепловые балансы заводов сборного железобетона. Из нее видно, что наиболее энергоемким процессом в производстве сборного железобетона является тепловая обработка, на которую сегодня расходуется 70% тепловой энергии, потребляемой заводом. В то же время для разогрева 1 м<sup>3</sup> бетона вместе с металлом форм (без учета потерь тепла в окружающую среду) требуется всего 50—60 тыс. ккал, т. е. в 5—6 раз меньше фактического расхода.

В общем случае расход энергии складывается из теоретически необходимого количества, сопутствующего расхода в теплоприемниках (нагрев установок ускоренного твердения бетона, компенсация их теплообмена с окружающей средой, грунтом и т. п.), эксплуатационных и режимных потерь [1].

Фактический тепловой баланс наиболее распространенных типов пропарочных камер периодического и непрерывного действия приведен в табл. 2.

Таким образом, основной удельный вес в тепловом балансе камер занимают

чина давления, с которым пар поступает к потребителю, существенно влияет на получение необходимого теплового эффекта. Так, при расходовании в камере острого пара и снижении его давления в котельной с 4 до 2 ата его количество уменьшится почти на 60% [4].

Таблица 2

Статьи расхода тепла	Камеры периодического действия	Шелвые камеры непрерывного действия
Разогрев бетона и форм	55/17	55/21
Сопутствующий расход:		
за время активного пропаривания	25/8	55/21
во время остывания при перерывах в работе	85/26	16/6
в грунт	25/8	33/13
с конденсатом	30/9	16/6
Потери через неплотности камер, запорной арматуры и т. д.	107/32	85/33
Общий расход тепла	327/100	260/100

Примечание. Перед чертой — в тыс. ккал/м<sup>3</sup>, после черты — в процентах

Хч. °С), поэтому и потери с поверхности корпуса камер непрерывного действия превышают 20% общего расхода тепла.

Повышенное теплопотребление в камерах объясняется большой теплоемкостью ограждений. Как правило, объем конструкций камер в 5—7 раз превышает объем прогреваемого в них бетона. Этот фактор особенно проявляется в камерах периодического действия, на компенсацию остывания ограждения которых при перерывах в работе требуется примерно 26% общего расхода тепла.

Таким образом, для сокращения сопутствующих расходов тепла необходимо повысить тепловое сопротивление ограждений пропарочных камер всех типов, а в камерах периодического действия снизить тепловую емкость ограждений.

Проведенные ВНИИЖелезобетоном работы позволили предложить способы реконструкции действующих камер путем установки теплоизоляционного материала с внутренней стороны ограждающих конструкций, создать методы расчета и сформулировать основные требования к проектированию новых эффективных камер. Опыт эксплуатации таких камер на ряде заводов Главмоспромстройматериалов и Минпромстроя СССР показал, что использование в них тепловой энергии возрастает с 25 до 85% при снижении расхода тепла до 65—70 тыс. ккал на 1 м<sup>3</sup> бетона.

В настоящее время Госстрой СССР утвердил типовый проект трех вариантов унифицированных эффективных пропарочных камер периодического действия и рекомендовал строительным министерствам и ведомствам осуществлять сооружение камер по новому проекту.

Еще раз следует подчеркнуть, что само по себе внедрение в производство эффективных камер положения не поправит, если потери тепла при эксплуатации оборудования на заводах будут велики и эксплуатация камер будет осуществляться на низком техническом уровне.

Резкое снижение расхода тепловой энергии в промышленности сборного железобетона может быть достигнуто также за счет внедрения эффективных режимов тепловой обработки [5]. Дело в том, что подавляющее большинство (около 60%) камер периодического действия работают с одним и менее оборотом в сутки. В этом случае длительность теплового воздействия на бетон изделий оказывается значительно больше, чем регламентировано стандартными режимами, что и приводит к значительному перерасходу тепловой энергии. Предварительные расчеты показали, что в ряде случаев можно ограничиться только разогревом бетона изделий до 60, 50 и даже 40°С и получить необходимую прочность в разо-

гретой установке без подачи пара.

Расчет и назначение эффективных режимов должны производиться с учетом фактического ритма работы тепловых установок, суммарной тепловой емкости бетона изделий, металла форм и ограждений камер, а также интенсивности остывания продукции за все время пассивного выдерживания ее в цехе. Внедрение таких режимов в производство дает возможность снизить температурный уровень нагрева изделий и удельный расход тепловой энергии примерно в 1,5 раза по сравнению со значениями расходов, предусмотренными СН 513-79.

Иная картина происходит при замене традиционного вида теплоносителя — пара на электричество. Способы электрообработки разнообразны, но при заводском производстве сборного железобетона применяют их пока весьма ограниченно. На ряде заводов имеются камеры, оборудованные различными электронагревательными устройствами. Эти камеры используют преимущественно для термообработки легких бетонов с целью получения изделий равновесной влажности. Расход электроэнергии в них составляет 80—90 тыс. ккал на 1 м<sup>3</sup> изделий.

Все более широко применяются электроиндукционные камеры и установки для густоармированных изделий. Расход энергии в теплоизоляционных индукционных камерах, в которых прогреваются изделия из легкого и тяжелого бетонов, составляет 90 тыс. ккал на 1 м<sup>3</sup> бетона при средней продолжительности цикла обработки 7—9 ч. При индукционном методе нагрева виброгидропрессованных труб расход энергии составляет 120 тыс. ккал/м<sup>3</sup>. Повышенный расход энергии по сравнению с указанными методами электрообработки объясняется большой металлоемкостью форм, применяемых при этой технологии.

Интересен опыт заводов, на которых газообразное топливо сжигается в специальных теплогенераторах, установленных непосредственно у камер.

Совмещение теплогенераторов с установками для ускоренного твердения бетона позволяет сократить расход энергии на 30—50 тыс. ккал/м<sup>3</sup> за счет резкого уменьшения эксплуатационных потерь тепла при транспортировании, улучшения теплообмена в камерах и сравнительно высокого к. п. д. генератора.

Таким образом, максимальной экономии энергии при тепловой обработке бетона можно добиться при доведении фактического теплопотребления до нормируемых значений, применении эффективных режимов, теплоизоляции пропарочных камер, а также использовании электроэнергии в качестве теплоносителя.

Следующей по значимости является статья расхода тепла на вспомогательные цели заводов сборного железобетона. В эту статью, наряду с неизбежными расходами на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и т. д., входят также потери энергии в заводских сетях ч котельных установках. Экономия энергии в указанных статьях расхода может быть достигнута путем нормализации теплового баланса. К мероприятиям по его нормализации можно отнести: автоматизацию работы систем горячего водоснабжения, отопления, вентиляции, воздушных завес, применения рециркуляционных систем для подогрева приточного воздуха в зимний период и т. д.

При осуществлении этих мероприятий может быть достигнута экономия 30 тыс. ккал/м<sup>3</sup>, или 25% расхода теплоэнергии на вспомогательные цели.

В табл. 1 представлен расход энергии на заводах сборного железобетона, энергобалансы которых оптимизированы. Расход тепловой энергии на таких заводах сократится более чем в 2 раза, центр тяжести теплового баланса переместится с технологии тепловой обработки изделий на вспомогательные цели. Поэтому уже сегодня самого пристального внимания заслуживает задача утилизации тепловой энергии на заводах отрасли.

К основным источникам вторичных энергоресурсов относятся: тепло уходящих газов после котлоагрегатов, тепло сбрасываемого конденсата после установок ускоренного твердения, а также циркуляционной воды после различного технологического оборудования (компрессорных станций, станков арматурных цехов и т. д.). Удельный вес вторичных энергоресурсов составляет 20—25% общезаводского расхода тепловой энергии.

Задача утилизации тепла дымовых газов с температурой 160—180°С решена путем применения контактных экономайзеров. Экономия тепловой энергии от использования тепла уходящих газов составляет 8% общезаводского теплопотребления.

Использование низкопотенциального тепла конденсата, циркуляционной воды, имеющих температуру 40—60°С, может быть осуществлено при помощи тепловых насосов, работающих совместно с аккумуляторами тепловой энергии. Утилизировав это тепло, достаточно незначительно повысить его потенциал при помощи теплового насоса, чтобы использовать для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения завода.

## Выводы

Уровень теплопотребления в отрасли сборного железобетона достаточно велик, стабилен и определяется в основном

эксплуатационными потерями и сопутствующими расходами, в которых скрыты большие резервы экономии энергии.

Сокращение расхода тепловой энергии на заводах сборного железобетона возможно только при комплексном подходе к рассматриваемой проблеме. Такой подход к нормализации и оптимизации теплоэнергетического баланса заводов позволит сократить общезаводской потреб-

ление энергии более чем на 50% и обеспечить в отрасли сборного железобетона значительную экономию топлива.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чумаков Ю. М., Объешенко Г. А., Ленский С. Е. Основные направления экономии энергии в промышленности сборного железобетона СССР. Труды VIII Международного конгресса МСС. Осло, 1980.
2. Крылов Б. А. Пути экономии энергетических затрат при производстве сборных железобетонных изделий. Материалы семинара в сб.: Пути снижения энергетических

- затрат в промышленности сборного железобетона. М., МДНТП, 1981.
3. Ленский С. Е., Демидов О. А. Тепловая эффективность и экономичность новых пропарочных камер ямного типа. Материалы семинара в сб.: Пути снижения энергетических затрат в промышленности сборного железобетона. М., МДНТП, 1981.
  4. Кронгауз С. Д. Улучшение тепловлажностной обработки железобетонных изделий в камерах твердения Енакиевского домостроительного комбината. Учтехиздат, 1957.
  5. Вегенер Р. В., Объешенко Г. А. Основы расчета эффективных режимов тепловой обработки. — Бетон и железобетон, 1981, № 6.

УДК 693.547.14.002.5.003.1

С. Е. ЛЕНСКИЙ, канд. техн. наук (ВНИИЖелезобетон);  
Л. Н. БЕККЕР, инж. (НИЛ ФХММ и ТП); М. М. ЦЕСЕЛЬСКИЙ, инж.  
(КТБ Стройиндустрия)

## Экономичные пропарочные камеры ямного типа

Анализ теплового баланса ямных камер в условиях, исключающих потери тепла через неплотности ограждений, показал, что суммарные потери тепла  $Q_{\text{вл}}$ , через стены и днище камер в процессе тепловлажностной обработки, остывания ограждений после прекращения подачи пара и в течение разгрузки и загрузки камер составляют до 70% общего расхода тепла, что связано с высокой теплопроводностью и теплоемкостью существующих типовых конструкций ограждений.

Предложены новые решения, включающие замену тяжелого бетона керамзитобетоном, применение составных стен с наружным бетонным ограждением и слоем теплоизоляции с внутренней стороны, защищенным гидро- и паронепроницаемым материалом (перегородки камер имеют теплоизоляционные слои с двух сторон), выполнение стен и днища с воздушной прослойкой (см. таблицу). Как видно из таблицы, наиболее эффективными по теплотехническим показателям являются внутренняя теплоизоляция ограждений, а также создание конструкций с внутренними воздушными прослойками. Замена тяжелого бетона керамзитобетоном не позволяет повысить к. п. д. камер более чем до 50%, и такой вариант реконструкции камер можно рекомендовать лишь в тех случаях, когда невозможна установка теплоизоляционных материалов или устройство воздушных прослоек. Камеры с внутренней теплоизоляцией стен (заливочный пенопласт ФРП-1) и металлической листовой гидрозащитой впервые были внедрены на заводе ЖБК московского строительного треста № 1, при этом днище не было утеплено и не

имело гидрозащиту. Фактический расход тепловой энергии в таких камерах при действующей системе автоматизации пропаривания в 1977 г. составил 210—310 МДж/м<sup>3</sup> (90—135 кг пара/м<sup>3</sup>). Однако в связи с отсутствием гидроизоляции в плоскости примыкания пенопласта к днищу камер в течение 2,5 лет эксплуатации произошло насыщение теплоизоляцией конденсатом, скапливающимся на днище камер, и ее массовая влажность возросла до 1200%. Это привело к существенному повышению расхода тепла, достигшему 640 МДж/м<sup>3</sup>. Необходимо отметить, что в результате трехлетней работы камер с металлической обшивкой стен не обнаружено коррозии 3-мм листовой стали.

В 1978 г. ВНИИЖелезобетон, НИЛ ФХММ и ТП, ВНИИКровля, НИИЖБ и КБ завода ЖБИ № 7 на полигоне завода смонтировали опытно-промышленную

камеру, в которой металлическую обшивку стен заменили гидрозащитой из латексного состава ЛСП-904, разработанного ВНИИКровлей. Стены камеры предусмотрены из сборных железобетонных блоков  $\delta=390$  мм с верхним монолитным поясом. С внутренней стороны блоков на каркасе из стальных уголков укреплены покрытые ЛСП-904 минераловатные плиты  $\delta=60$  мм, прижатые к блокам стальной сеткой. По сетке нанесена стяжка из цементно-песчаного раствора, покрытая ЛСП-904 для паронепроницаемости. Днище камеры выполнено из керамзитобетонных плит  $\delta=120$  мм, гидроизолированных гидробутиловой пленкой и покрытой ЛСП-904 растворной стяжкой (см. рисунок).

Результаты теплотехнических испытаний камеры показали, что расход тепловой энергии в ней составил 430 МДж/м<sup>3</sup>, что в 1,8 раза меньше, чем в неизолированных блоками камерах. Анализ проб теплоизоляции после эксплуатации в течение 1 года показал, что их влажность находится в пределах нормы (4—6%). Предложенная конструкция включена в разработанный СКТБ Главмоспромстройматериалов совместно с НИЛ ФХММ и ТП «Альбом конструктивных решений элементов пропарочных камер, обеспечивающих снижение расхода тепловой энергии».

На заводе ЖБИ № 7 сооружен блок из 10 камер, стены которых выполнены из трехслойных панелей с утеплителем из пеностекла. Размер панелей 2000×1800×390 мм при толщине наружного бетонного слоя 240 мм, теплоизоляционного слоя — 120 мм и внутреннего защитного бетонного слоя 30 мм, покрытого ЛСП-904. Трехслойные панели изготавливали на имеющихся технологических линиях, что значительно сократило продолжительность строительного-монтажных работ. На заводе ЖБИ № 8 и комбинате ЖБК № 2 Главмоспромстройматериалов смонтированы два блока из четырех ямных камер, выполненных из керамзитобетонных панелей, защищенных ЛСП-904. В настоящее время освоено

Вид ограждения	$Q_{\text{общ}}$ , МДж/м <sup>3</sup>	$Q_{\text{н.п.}}$ , МДж/м <sup>3</sup>	$\eta = \left(1 - \frac{Q_{\text{н.п.}}}{Q_{\text{общ.}}}\right) \times 100, \%$
Стены и днище из тяжелого бетона (типовой проект 409-10-38)	60	625	28
То же, из керамзитобетона марки М200	533	294	45
Стены из тяжелого бетона с внутренней теплоизоляцией и парогидроизоляционным слоем	277	39,5	86
Стены из тяжелого бетона с несколькими воздушными прослойками и защитной асбестоцементной стенкой	282	42	85

опытно-промышленное производство ЛСП-904 (стоимость 1 т 1000 р., расход 2 кг/м<sup>2</sup>) на Нагатинском заводе стройматериалов.

Проблема гидрозащиты теплоизоляции практически отпадает при выполнении ограждений камер с воздушными прослойками. В 1980 г. ВНИИЖелезобетон в содружестве с заводом ЖБИ № 9 Главмоспромстройматериалов пущена в эксплуатацию опытная пропарочная камера с ограждениями, имеющими экранную изоляцию, которая представляет собой полость, образованную бетонной стенкой существующей камеры и асбестоцементными листами  $\delta=16$  мм, разделенную пленочными экранами (пленка ПЭТФ выпускается промышленностью по ТУ 6-05-1794-76) на пять отдельных замкнутых воздушных прослоек  $\delta=40$  мм. Внутренние поверхности бетонных стен и асбестоцементных листов покрыты фольгоизолом. Экранная изоляция защищена плоскими асбестоцементными листами. Для герметизации рабочего объема камеры вертикальные швы между ними проклеены синтетической пленкой. Днище камеры выполнено также с воздушной прослойкой, образованной П-образными тонкоробристыми железобетонными плитами ПРТ-10 (см. рисунок). Камера оборудована вертикальными перфорированными стойками, обеспечивающими равномерную подачу пара по всему объему и закручивание паровоздушной среды в горизонтальном направлении.

В результате теплотехнических испытаний, проведенных после пуска камеры и через год после начала эксплуатации, установлено, что расход тепловой энергии в ней составил 210—250 МДж/м<sup>3</sup> (расход в неутепленной камере 500 МДж/м<sup>3</sup>

при наличии средств автоматизации и 840 МДж/м<sup>3</sup> при их отсутствии).

Снижение температуры среды в опытных камерах после прекращения подачи пара составляет около 1°С/ч, что позволяет осуществить их работу в термосном режиме и значительно упростить схему автоматики.

Принцип экранной изоляции получил дальнейшее развитие в проектах КТБ Стройиндустрии Минпромстроя СССР. Камеры размером 7960×4700×3200 мм, смонтированные на Рязанском заводе ЖБИ № 2, имели стены с четырьмя воздушными прослойками ( $\delta=50$  мм), разделенными листовым стеклопластиком ( $\delta=2$  мм). Крепление стеклопластика осуществляли с помощью сотовой конструкции из деревянных брусков, сечение которых соответствовало толщине воздушной прослойки. С внутренней стороны ограждения смонтированы асбестоцементные листы ( $\delta=10$  мм). Внутреннюю поверхность ограждений оклеивали алюминиевой фольгой. Сотовая конструкция полости обеспечивает необходимую жесткость ограждения, простоту строительно-монтажных работ и максимально уменьшает конвективные теплотери.

В результате экспериментов на различных опытно-промышленных камерах разработан новый типовой проект «Камеры периодического действия для тепловой обработки изделий из тяжелого и легкого бетонов» вместо действующего 409-10-38. Он предусматривает изготовление стен из керамзитобетона марки М200 (монолитный и сборный вариант), а также внутреннюю теплоизоляцию стен, выполненных из тяжелого бетона. Днище камер изготовлено из многослойных керамзитобетонных панелей серии I-141.

В варианте с теплоизоляцией ограждений применены сборные стеновые панели серии 3.900-2 из тяжелого бетона,  $\delta=200$  мм. С внутренней стороны стен предусмотрен утеплитель из минераловатных плит,  $\delta=60$  мм. Парогидрозащита изоляции выполнена из изола и листовой стали,  $\delta=3$  мм (см. рисунок). Между металлическим листом и изолом, наклеенным на минераловатные плиты, образована воздушная прослойка,  $\delta=40$  мм, сообщающаяся с рабочим объемом камеры и служащая для стекания конденсата при случайном проникании пара в результате разгерметизации стальной обшивки стен. В типовом проекте предусмотрено также применение механизированных крышек с гидроприводом и дистанционным управлением, успешно эксплуатируемых на Московском заводе ЖБИ № 18.

Однако типовой проект не может учесть всего многообразия встречающихся на практике типов камер, технологии их сооружения и имеющих в наличии материалов, поэтому при его привязке и разработке индивидуальных проектов следует учитывать следующие принципы конструирования ограждений ямных камер: к. п. д. камеры не может быть меньше 80%, ограждения камер должны выполнять преимущественно теплозащитные функции и выдерживать давление грунта; днище камер должно быть выполнено с повышенным тепловым сопротивлением, нагрузку от стен камер и форм с изделиями должны воспринимать элементы конструкции, не связанные с теплоизоляционным слоем. Защиту ограждений от механических повреждений, в том числе и от ударов форм, следует осуществлять с помощью металлических направляющих стоек, не передающих нагрузки на теплоизолированные ограждающие конструкции. При устройстве внутренней теплоизоляции между защитной стенкой из металлического или асбестоцементного листа и теплоизоляционным материалом целесообразно предусматривать воздушную прослойку толщиной до 40 мм, связанную с рабочим объемом камеры и служащую для стока конденсата, а теплоизоляционные материалы рекомендуется укладывать локальными участками для предотвращения увлажнения всего материала при случайной разгерметизации защитной обшивки.

По предварительным расчетам, годовая экономическая эффективность одной новой или реконструированной камеры (применительно к типовой трехсекционной камере объемом 183,9 м<sup>3</sup>, годовой производительностью 4800 м<sup>3</sup> железобетонных изделий) составляет около 2000 р., экономия усл. топлива — 113 т.

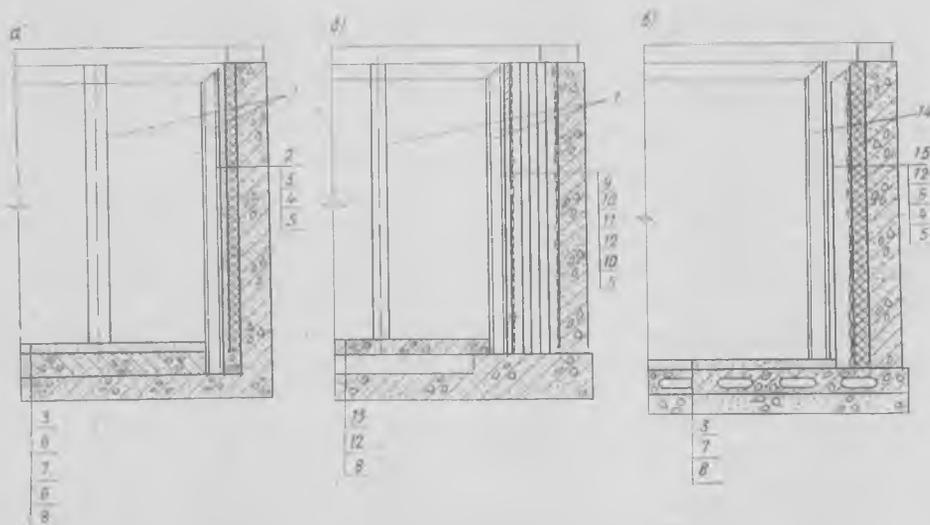


Схема устройства ограждений теплоизолированных ямных камер

а — с латексной гидроизоляцией; б — с «экранной» изоляцией; в — с металлической гидроизоляцией (типовой вариант); 1 — защитные стойки; 2 — пароизоляция ЛСП-904; 3 — цементно-песчаная стяжка по сетке,  $\delta=20$  мм; 4 — теплоизоляция; 5 — железобетонная стена; 6 — гидроизоляция; 7 — керамзитобетонная плита; 8 — бетонная подготовка; 9 — асбестоцементный лист,  $\delta=16$  мм; 10 — алюминиевая фольга (фольгоизол); 11 — экраны из пленки ПЭТФ; 12 — воздушные прослойки; 13 — панель перекрытия; 14 — стойка пакетировщика; 15 — стальной лист,  $\delta=3$  мм

## Снижение энергозатрат путем рационального выбора цемента

Энергетические затраты при изготовлении изделий из бетона складываются из затрат на изготовление составляющих бетон компонентов, их количественного содержания, а также затрат на технологические переделы (приготовление смесей, их формование, тепловую обработку). Наиболее энергоемким компонентом бетона является цемент, а технологическим переделом производства — тепловлажностная обработка.

Оборачиваемость форм и оборудования при изготовлении сборного железобетона определяет металлоемкость производства. Существует довольно тесная взаимосвязь между расходами цемента и длительностью тепловой обработки. В настоящее время нормативная длительность составляет 13—15 ч. В соответствии с этим разработаны «Типовые нормы расхода цемента». По мере сокращения цикла тепловлажностной обработки увеличивается оборачиваемость форм, уменьшается их число, однако растет расход цемента. В настоящее время на большинстве заводов, работающих по агрегатно-поточной технологии, преобладают режимы, длительностью более нормативных. При такой длительности расходы цемента при надлежащем качестве заполнителей должны соответствовать нормативным и быть близкими к расходам для бетонов нормального твердения.

На производство цемента одной марки, по различным видам, расходуется различное количество энергоресурсов (табл. 1). Если принять за единицу расход условного топлива для портландце-

мента с минеральными добавками марки М400, то для портландцемента без добавок такой показатель будет равен 1,18, а для шлакопортландцемента 0,69. Таким образом, наиболее экономичным по энергозатратам является шлакопортландцемент.

В то же время цементы различных видов одной марки неравнозначны по расходу в бетоне из-за разной водопотребности, а также кинетики твердения. Введение в цемент активных минеральных добавок (трепела, опоки и т. п.) приводит к росту водопотребности бетонной смеси и некоторому повышению расхода цемента. Бетоны на шлакопортландцементе по водопотребности не отличаются от портландцементов без добавок, однако твердеют медленнее, что удлинит режимы тепловой обработки и снижает оборачиваемость форм. Для оценки эффективности применения того или иного цемента по энергозатратам необходимо учитывать расход цемента, обеспечивающий получение равнопрочных бетонов из равноподвижных смесей в заданные сроки твердения. Были приняты усредненные расходы цемента различных видов и марок на 1 м<sup>3</sup> бетона при различной продолжительности тепловлажностной обработки. При этом расход условного топлива на тепловую обработку выше для бетонов средних и низких марок, а также для шлакопортландцемента из-за необходимости повышения температуры изотермического прогрева. Фактические расходы пара в 2—3 раза превосходят нормативные и в среднем составляют 700 кг/м<sup>3</sup>. В расчетах было принято, что на 1 т пара расходуется 90 кг усл. топлива.

Энергозатраты на производство тяжелых заполнителей составляют 3,6—5,8 кг усл. топлива на 1 м<sup>3</sup> и в бетоне практически постоянно независимо от применяемой марки и вида цемента. Затраты на заводские технологические переделы (кроме тепловой обработки) почти не зависят от вида цемента и сравнительно невелики (около 30 кВт·ч/м<sup>3</sup>).

Суммарные затраты условного топлива резко увеличиваются при повышении марки бетона, так как растет расход це-

мента на 1 м<sup>3</sup> бетона. Так, энергозатраты на бетон марки М500 примерно в 2 раза больше, чем на бетон марки М200. При изготовлении бетонов одной марки с применением различных цементов при неизменном режиме тепловлажностной обработки суммарные энергозатраты различны, при этом независимо от марки бетона минимальные энергозатраты имеет бетон, приготовленный на шлакопортландцементе. При использовании портландцементов с минеральными добавками и без них суммарные энергозатраты на 1 м<sup>3</sup> бетона различны и зависят от марки бетона. Так, бетон марки М200 имеет наибольшие энергозатраты при использовании портландцемента без добавок марок М600 и М400, что свидетельствует о нецелесообразности их применения для бетона этой марки. При изготовлении бетонов марки М500 на портландцементе с добавками марки М600 из-за повышенной водопотребности этого цемента расход его значительно увеличивается.

Необходимы оптимальные решения, способствующие экономии топливно-энергетических и сырьевых ресурсов при выпуске требуемого количества цемента и изготовлении на нем необходимых объемов бетона. С этих позиций был выполнен дополнительный анализ, результаты которого приведены в табл. 2.

Разницу в расходах различных цементов  $\Delta C_1$  при изготовлении бетонов марок М200 и М400 при различных режимах пропаривания сравнивали с портландцементом с минеральными добавками марки М400, что представляет наибольший интерес для потребителей цемента. Разница в суммарных расходах условного топлива на 1 м<sup>3</sup> ( $\Delta U.T$ ) характеризует эффективность того или иного цемента в сфере его производства. Суммарный эффект ( $\Delta C_2$ ) определяется как сумма  $\Delta C_3 = \Delta C_1 + \Delta C_2$ , с учетом знака (плюс или минус) на расход цемента и условного топлива, где  $\Delta C_2$  — количество цемента, изготавливаемое на  $\Delta U.T$ .

Для бетона марки М200 при режиме пропаривания 13—16 ч наиболее эффективен шлакопортландцемент марки М500, затем марки М400 и портландцемент с минеральными добавками марки М500. Остальные цементы по суммарному эффекту близки между собой; нецелесообразен портландцемент без добавок марки М400. При режиме пропаривания 8—10 ч наиболее эффективен шлакопортландцемент марки М500, затем портландцемент с минеральными добавками марки М500. Нецелесообразен шлакопортландцемент марок М300 и М400 и портландцемент без добавок марки М400. Остальные цементы занимали промежуточное положение.

Таблица 1

Вид цемента	Марка цемента	Содержание минеральных добавок, %	Расход усл. топлива на производство 1 т цемента, кг
Портландцемент	400	—	280
	500	—	291
	600	—	345
Портландцемент с минеральными добавками	400	15	237
	500	13	258
	600	3—5	330
Шлакопортландцемент	300	60	140
	400	50	163
	500	40	194

Таблица 2

Марка бетона	Вид цемента	Марка цемента	$\Delta C_1$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta U.T$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta C_2$ , кг	$\Delta C_3$ , кг		
200	Портландцемент без добавок	400	-2/-3	+4/+11	+17/+46	+15/+43		
		500	-25/-30	0/+7	0/+30	-25/0		
		600	-44/-58	+6/+11	+25/+46	-19/-12		
	Портландцемент с минеральными добавками	400	0/0	0/0	0/0	0/0		
		500	-16/-21	-5/+1	-21/+4	-37/-17		
		600	-39/-51	+5/+10	+21/+42	-18/-9		
		300	+45/+79	-16/-8	-68/-34	-23/+45		
		400	+17/+32	-14/-7	-59/-30	-42/+2		
		500	-8/-10	-10/-5	-42/-21	-50/-31		
		400	Портландцемент без добавок	400	-53/-64	+8/+19	+34/+80	-19/+16
500	-97/-121			+1/+8	+4/+34	-93/-87		
600	-131/-155			+12/+22	+51/+93	-80/-62		
Портландцемент с минеральными добавками	400		0/0	0/0	0/0	0/0		
	500		-60/-76	-8/+4	-34/+17	-94/-59		
	600		-108/-137	+14/+21	+59/+87	-49/-50		
	400		Шлакопортландцемент	300	+67/+103	-32/-21	-135/-87	-68/+16
				400	-10/+12	-31/-20	-130/-83	-140/-72
				500	-60/-75	-25/-18	-105/-76	-165/-151

Примечания: 1. Знак «-» означает уменьшение, а знак «+» — увеличение расхода на 1 м<sup>3</sup>.

2. Перед чертой — для режима пропаривания 13—16 ч; после черты — 8—10 ч.

Для бетона марки М400 при продолжительном режиме тепловлажностной обработки цементы распределялись следующим образом: шлакопортландцемент марки М500, затем марки М400, портландцемент без добавок и портландцемент с минеральными добавками марки М500. Нецелесообразен портландцемент с минеральными добавками марки М400. При укороченном режиме наиболее

эффективен шлакопортландцемент марки М500, затем портландцемент без добавок марки М500 и шлакопортландцемент марки М400. Нецелесообразен портландцемент без добавок марки М400 и шлакопортландцемент марки М300.

Из этих данных следует, что для заводов сборного железобетона наиболее эффективным и универсальным является шлакопортландцемент марок М500 и

М400 и нецелесообразен по суммарному расходу условного топлива портландцемент без добавок марки М400.

К сожалению, на заводы ЖБИ поставляется шлакопортландцемент преимущественно марок М300. Использование такого цемента для получения бетонов М300 и выше, производство которых на заводах ЖБИ составляет более 50%, вызывает значительный перерасход цемента, исключает возможность применения укороченных режимов тепловлажностной обработки, а также изготовления морозостойких бетонов.

Таким образом, для успешного использования шлакопортландцемента на заводах сборного железобетона необходимо значительно улучшать его качество. Основной характеристикой этого вяжущего должна быть активность при пропаривании не менее 25 МПа. Такой цемент конкурентоспособен с портландцементом при значительных преимуществах по энергозатратам и расходу клинкера на его производство. Портландцемент без добавок марки М500 наиболее эффективен в бетонах марки М400 и выше. Применение таких цементов марки М400 с точки зрения суммарных энергозатрат при изготовлении 1 м<sup>3</sup> бетона нецелесообразно.

УДК 691.328:69.055:620.9.004.18

А. А. ФОЛОМЕЕВ, инж. (НИИЖБ)

## Вопросы нормирования энергозатрат при производстве сборного железобетона

Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее сложных проблем, решение которой связано не только с совершенствованием существующих и созданием новых технологических процессов, энергопотребляющего и утилизационного оборудования. Рациональная организация контроля расхода энергии и топлива, учет с помощью приборов их расхода по заводу, цехам и отдельным энергоемким агрегатам позволит объективно оценивать использование энергоресурсов в целом по предприятию и на отдельных участках производства, обоснованно производить их распределение.

Одной из организационных мер по

повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов является стандартизация показателей (нормативов) расхода энергии. По этому вопросу проделана определенная работа, которую, однако, не следует рассматривать как завершенную.

Госплан СССР в 1979 г. утвердил «Основные положения по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве». В положениях рекомендован в качестве основного расчетно-аналитический метод, по которому нормы расхода энергии определяются расчетным путем на основе прогрессивных показателей, достигнутых в производстве. Практически до последнего времени нормирование расхода

энергии на предприятиях ведется отчетно-статистическим методом на основании достигнутого уровня с учетом заданий по снижению энергозатрат.

Госстроем СССР утверждены и введены в действие «Временные нормы для расчета расхода топливной энергии при тепловлажностной обработке сборных бетонных и железобетонных изделий в заводских условиях» (СН 513-79). В них регламентирован расход тепловой энергии на технологические цели, без учета вспомогательных служб предприятия, где расход достигает 22—25% суммарных затрат энергии. Особенностью указанных норм является возможность учета расхода тепла, теряемого в грунт подземной частью корпуса, камер твердения, а так-

же потерь, связанных с остыванием камер.

В инструкции ЦСУ СССР «О выполнении норм и заданий по среднему снижению норм расхода топлива, теплоэнергии и электроэнергии» предусматривается нормирование суммарного расхода энергоресурсов в целом по предприятию на технологические процессы и вспомогательные службы производства. Однако она позволяет предприятиям отчитываться в расходе энергии на вспомогательные цели по разделу «Производство сборных железобетонных изделий» при наличии утвержденных технологических норм по статье «Прочее производственное потребление». Поскольку документы, регламентирующие нормы расхода энергоресурсов на вспомогательные службы, еще не разработаны, предприятия имеют возможность вносить в энергозатраты различные статьи расхода, искажая суммарные показатели, в ряде случаев создавая видимость планомерного снижения энергозатрат.

Отдельные рекомендации по данному вопросу на разных предприятиях существенно различаются из-за различия методов их разработки. Обследование 12 предприятий годовой мощностью от 147 до 230 тыс. м<sup>3</sup> показало, что только на одном из них ведется отдельный учет энергозатрат в основном производстве и во вспомогательных службах.

Расход электрической энергии на предприятиях сборного железобетона достигает 20—25% сумм затрат энергии. На большинстве заводов энергосбыт контролирует лишь суммарный ее расход. В то же время на предприятиях эксплуатируется оборудование, потребляющее большое количество электроэнергии, для которого необходим индивидуальный учет ее расхода. К такому оборудованию в первую очередь относятся компрессорные установки, машины для электротермического и электротермомеханического натяжения арматуры и др.

На производство сжатого воздуха расходуется до 18% электрической энергии. При этом ее потери из-за неудовлетворительной эксплуатации компрессорных установок и сетей сжатого воздуха составляют в среднем около 15% суммарных заводских потерь. Способ электротермического натяжения арматуры не экономичен из-за низкого к. п. д. нагревательных установок, достигающего только 1,2—1,5% при достаточно большой потребляемой мощности, но по затратам труда и другим показателям наиболее эффективен. По заводским нормам расход электрической энергии при электротермомеханическом натяжении одного арматурного стержня длиной 6 м диаметром 12 мм составляет 0,65 кВт·ч.

Столь существенные затраты электрической энергии на отдельные виды обслуживания вызывают необходимость их нормирования, что, кроме достижения экономии энергии, будет способствовать развитию работ, связанных с повышением к. п. д. агрегатов.

Для нормирования энергозатрат необходимо оснащение предприятий сборного железобетона приборами для учета и контроля потребления энергии. Этому вопросу до настоящего времени не уделяется должного внимания. Например, трест Киевпромстрой Минпромстроя УССР ежегодно утверждает подведомственному объединению Киевжелезобетон нормы затрат энергии на выпуск сборного железобетона широкой номенклатуры. Но в цехах объединения установлено только два счетчика, поэтому не представляется возможным проверить соответствие фактических энергозатрат нормам и определить величину достигнутой экономии. Аналогичное положение имеет место на многих предприятиях сборного железобетона.

Следует отметить, что недостаточный уровень учета энергозатрат на предприятиях сборного железобетона, слабая оснащенность заводов приборами для учета и контроля за расходом энергии сдерживает форсирование работ по экономии, часто приводит к необоснованному завышению заводских и ведомственных норм и затрат.

Исследования НИИЖБ и обследование действующих предприятий позволяют в качестве нормативов расхода энергии рекомендовать некоторые основные показатели. Для установок непрерывного действия (туннельные и вертикальные камеры непрерывного действия, линии безотходной заготовки арматуры и др.) нормативом заводского расхода энергии должны являться показатели их удельности и фиксированных параметрах технологического процесса. Для оборудования периодического действия (ямные камеры твердения, технологические линии периодического действия, отдельные виды оборудования линий и др.) нормативом должны быть удельные расходы энергии, характеризующие энергозатраты при разных объемах обрабатываемых изделий.

Следует отметить различие между нормативами расхода энергии для оборудования и технологическими нормами ее расхода на производство продукции, характеризующими такой расход на весь процесс с учетом вспомогательных операций, организационных факторов и т. п. Норматив расхода энергии на оборудование характеризует эффективность отдельных элементов технологического про-

цесса и далеко не всегда определяет суммарный расход энергии для отдельного агрегата. Например, для ямных камер твердения нормативы расхода энергии определяются только на стадии разогрева изделий и поддержания температуры изотермического прогрева при неизменном объеме камеры, размеров и массы изделий, состава бетона и др.

Для предприятий сборного железобетона целесообразно создать нормативы суммарных ресурсов — отдельно тепловых, электрических и топливных (при наличии котельных), отдельно по заводу и цехам. Следует разработать нормативы для технологических линий (без камер твердения), камер твердения, компрессорных, устройств подогрева заполнителей, установок для электротермического натяжения и т. д.

Необходимо организовать учет энергоресурсов вспомогательных служб заводов, что позволит развивать работу по экономии энергозатрат отдельно по основному производству и указанным службам.

При разработке норм на вспомогательные службы необходимо учитывать утилизацию тепловой энергии на заводах. К основным источникам вторичных энергоресурсов следует отнести тепло уходящих газов из котлоагрегатов, конденсата из камер тепловой обработки, циркуляционной воды из технологического оборудования. Удельный вес вторичных энергоресурсов составляет 15—18% суммарных затрат тепловой энергии. Утилизацию тепла дымовых газов, имеющих температуру 140—170°C, можно осуществить с помощью контактных экономайзеров, при этом экономия тепла составит 6—8% общезаводского потребления. Тепло конденсата и циркуляционной воды температурой 40—60°C можно использовать при работе тепловых насосов, работающих совместно с аккумуляторами тепловой энергии. Достаточно лишь незначительно повысить потенциал утилизированного тепла для применения его в отоплении и горячем водоснабжении. Использование теплового аккумулятора дает возможность в значительной степени выравнивать суточный график потребления энергии.

Создание нормативов для вспомогательных служб будет способствовать экономии энергии. Дополнительными мероприятиями по экономии являются оперативное планирование суточных графиков нагрузки потребителей и источников энергоснабжения; оперативный учет и контроль выработки и потребления энергоресурсов на вспомогательные службы завода; теплоизоляция паропроводов; автоматизация работы системы горячего водоснабжения, отопления, вент-

гиляции, воздушных завес и т. д. Их осуществление позволит сэкономить около 25% энергии, расходуемой на вспомогательные цели.

Нормы расхода затрат энергоресурсов рекомендуется создавать как укрупненные по министерствам и ведомствам по единой согласованной методике, на основе их будут разрабатываться и утвер-

ждаться заводские нормы. Одновременно необходимо организовать оснащение предприятий приборами, предусматривая в дальнейшем использование автоматизированной системы учета электроэнергии, выпускаемой Вильнюсским заводом электросчетчиков. Она позволяет значительно улучшить контроль за расходом электрической и тепловой энергии,

определить совмещенный максимум нагрузки производства.

В современных условиях вопрос о разработке и утверждении норм расхода энергоресурсов на предприятиях сборного железобетона и оснащении их необходимыми приборами стал важнейшим для всех строительных министерств и ведомств.

УДК 691.327:69.055.621.1

К. Э. ГОРЯЙНОВ, А. Н. СЧАСТНЫЙ, доктора техн. наук (ВЗИСИ);  
Е. И. СЛЕПОКУРОВ, канд. техн. наук (СФ ВНИИСТ);  
Э. Б. ПИНСОН, канд. техн. наук (ВНПО Союзпромгаз);  
Б. И. КОСТЕНКО, канд. техн. наук (ЦНИИЭПсельстрой)

## Тепловлажностная обработка изделий в продуктах сгорания природного газа

В результате экспериментальных, теоретических и проектных работ, выполненных во ВЗИСИ, ВНПО Союзпромгаз СФ ВНИИСТ, НИИЖБ и ЦНИИЭПсельстрое внедрен новый способ тепловлажностной обработки бетонов в рециркуляционных камерах в среде продуктов сгорания природного газа на Ухтинском заводе керамзитобетонных панелей, Вуктыльском и Бельгопском заводах ЖБИ ГлавКОМИгазнефестроя, на Надымском заводе КПД ПО Сибжилстрой и на других предприятиях [1].

Общий объем бетонных изделий из легкого бетона марок М50—М100 и тяжелого бетона марок М150—М400, подвергнутого ТВО в среде продуктов сгорания, в 1981 г. составил около 100 тыс. м<sup>3</sup>. С 1974 г. этот способ успешно применяется на Ухтинском заводе керамзитобетонных панелей для изготовления наружных стеновых панелей из керамзитобетона марки М50. За эти годы

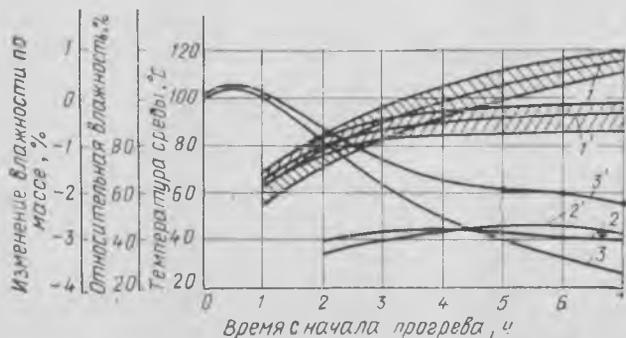
выпущено около 300 тыс. м<sup>3</sup> изделий. Шесть ямных и две щелевые камеры работают на продуктах сгорания природного газа, полученного с помощью теплогенераторов конструкции ВНПО Союзпромгаз.

При тепловлажностной обработке изделий в среде продуктов сгорания возникает опасность пересушивания бетона, поэтому температура и относительная влажность продуктов сгорания на каждой стадии ТВО должна быть регламентирована для получения бетона с наибольшей прочностью и стойкостью при минимальной продолжительности и затратах тепла и топлива. В результате нагрева бетона в среде с пониженной относительной влажностью можно значительно повысить его прочность по сравнению с пропариванием.

Теоретическим анализом изменения относительного влагосодержания среды в процессе ТВО в рециркуляционных ка-

мерах и связанного с этим изменения влажности бетона установлено, что на стадиях нагрева и изотермического выдерживания при подъеме температуры среды до 100—120°C в течение первых 0,5—1,5 ч происходит конденсация пара из среды продуктов сгорания на поверхности изделий. Интенсивность и продолжительность этого процесса определяются температурой поверхности бетона и скоростью подъема, а также коэффициентом избытка воздуха в продуктах сгорания  $\alpha$ .

Процесс продолжается до тех пор, пока температура поверхности изделий ниже температуры насыщения — точки росы продуктов сгорания, причем величина относительного влагосодержания среды изменяется на этой стадии вследствие конденсации влаги и разбавления паровоздушной средой в камере. При  $\alpha=1$  температура точки росы продуктов сгорания природного газа равна 59°C. Увеличение  $\alpha$  до 2—2,5 при одновременном уменьшении влагосодержания в результате конденсации понижает температуру точки росы до 30—50°C, что соответственно уменьшает температуру, а следовательно, и длительность периода конденсации пара. По мере разогрева поверхности бетона до температуры точки росы рециркулируемых продуктов сгорания, поступающих в камеру, интенсивность конденсации уменьшается, затем, после перехода через равновесное состояние, начинается сушка бетона (см. рисунок). При  $\alpha=1,5$  количество воды,



Изменение температуры и относительной влажности среды в рециркуляционной камере при тепловлажностной обработке керамзитобетона и тяжелого бетона (со штрихами)  
1, 1' — температура среды; 2, 2' — относительная влажность среды; 3, 3' — изменение влажности по массе

Марка керамзитобетона	Показатели					
	Среднее		Среднеквадратическое		Коэффициент вариации	
	1	28	1	28	1	28
M50 M75	1031/5,1* 1080/7	1018/6,1 1065/8,67	19/0,55 43/1	28/0,73 32/0,9	1,9/10,7 4/15,5	2,8/11,9 3,1/10,4

\* Перед чертой —  $\gamma_0$ , кг/м<sup>3</sup>, после черты —  $R_{сж}$ , МПа.

сконденсировавшейся из продуктов сгорания, равно 2,5—3 кг/м<sup>3</sup> бетона, при  $\alpha=3-1,4...1,8$  кг/м<sup>3</sup>.

Вследствие конденсации пара на поверхности изделий и повышения температуры среды ее относительная влажность вначале уменьшается, а затем в связи с испарением влаги с поверхности увеличивается до 40—50% и остается постоянной до окончания активного периода ТВО (до момента выключения горелки теплогенератора). Таким образом, процесс характеризуется тем, что парциальное давление паров воды в среде продуктов сгорания стремится к парциальному давлению пара при температуре поверхности бетона.

Установлено, что в течение нагрева и изотермического выдерживания при температуре 80—100°C потери воды затворения из тяжелого бетона в рециркуляционных установках, работающих обычно при  $\alpha=2...2,2$  и коэффициентах заполнения камеры бетоном 0,1—0,2, не превышают 2—2,5% по массе. Если учесть, что разница температуры среды и тяжелого бетона в это время составляет 15—20°C, а коэффициент теплоотдачи 8—12 Вт/(м<sup>2</sup>·°C), то количество поступающего тепла к изделиям достаточно для испарения воды на стадии изотермического выдерживания и на протяжении 8 ч составляет 2,5—3% по массе.

Для легких бетонов потери воды затворения могут быть увеличены повышением температуры среды в конце прогрева до 120—140°C. Эти результаты подтверждаются данными работы установок на Ухтинском заводе керамзитобетонных панелей Миннефтегазстроя. В результате статистической обработки лабораторных измерений режимов прогрева в 1980 г. определены средние значения. На рисунке показано изменение температуры продуктов сгорания природного газа, относительной влажности и влагопотерь бетона во время прогрева в ямной камере. Область изменения температуры среды в процессе ТВО заштрихована. Как видно из рисунка, температура среды в камере 80°C достигается через 2 ч с начала прогрева, далее она непрерывно повышается с уменьшающейся скоростью и в конце нагревания составляет 117±4°C. На кри-

вой 3, отражающей изменение влажности по массе, отмечаются два участка. Первый соответствует периоду конденсации влаги на образце с начала прогрева до 1 ч, второй — периоду высушивания образца, который начинается с 1 ч и продолжается все остальное время, включая и период охлаждения. За 8 ч прогрева легкий бетон с  $\gamma_0=1000$  кг/м<sup>3</sup> при расходе воды 200 л (20%) теряет около 4%; во время охлаждения влажность уменьшается на 2%.

Через 1 сут после ТВО влажность керамзитобетона составляет около 10%. Относительная влажность продуктов сгорания начиная с 0,8—0,9 ч возрастает; достигнув 40%, она остается постоянной во время дальнейшего прогрева. По мере разогрева бетона процесс конденсации влаги на его поверхности сменяется испарением, что повышает влажность в камере.

В таблице приведены данные некоторых свойств керамзитобетона (выборка из 793 образцов), выпущенного заводом в 1980 г. Керамзитовый гравий имел среднюю объемную массу  $\gamma_{ср}=524$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент вариации  $\gamma_{ср}=11,7\%$ . Среднее значение влажности бетона марки M50 через сутки после прогрева — 10,2%; среднеквадратичное отклонение — 1,15%; коэффициент вариации — 11,3%.

Для бетона марки M50  $R_1/R_{28}=0,83$ ; марки M75—0,81. Это свидетельствует о том, что остаточная влажность керамзитобетона (10%) достаточна для дальнейшего набора им прочности.

В результате тепловлажностной обработки керамзитобетона в рециркуляционных камерах вместо пропаривания уменьшился расход природного газа с 60,4 до 10,5 м<sup>3</sup>, т. е. в 5,7 раза; себестоимость изделий в результате снижения стоимости теплоносителя на 2,78 р/м<sup>3</sup> бетона; продолжительность ТВО в среднем на 2 ч при существенном повышении качества бетона.

Коэффициент вариации прочности легкого бетона уменьшился с 24,5 до 11—12%, отпускная влажность снизилась до 10%. Прекращение парения в цехе улучшило условия труда рабочих и оборудования. В связи с отсутствием конденсата

появилась возможность отказаться от канализации камер. Кроме того, отпала необходимость строительства котельной для получения технологического пара.

На рисунке показан режим прогрева изделий из тяжелого бетона марки M200 состава Ц : П : Щ : В = 1 : 1,7 : 2,95 : 0,58, применяемого Надымским заводом КПД. Это предприятие выпускает комплекты блочных зданий серии 1-123 с несущими наружными стеновыми блоками из бетона марки M75 и несущими внутренними стенами из бетона марки M200. Кроме того, из бетона марки M200 изготавливают преднапряженные пустотные плиты перекрытий, лестничные марши и др.

Максимальная температура среды в камере (на входе в теплогенератор) не превышает 100°C, а относительная влажность среды меняется так же, как и при ТВО легкого бетона. В среднем максимальная относительная влажность среды составляет около 40%. При таком режиме прогрева влагопотери бетона марки M200 составляют около 2,2% (около 45 кг/м<sup>3</sup> бетона). Средняя прочность бетона принятого состава после прогрева по такому режиму равна 18,2 МПа, коэффициент вариации прочности 12%. В возрасте 28 сут средняя прочность 23 МПа, коэффициент вариации R около 10%. После пропаривания по аналогичному режиму R=17 МПа. Таким образом, обеспеченность бетона марки M200 в возрасте 1 сут после ТВО составляет 85%, в возрасте 28 сут — 90%, что значительно выше, чем при пропаривании.

По прочности, жесткости и трещиностойкости изделия из бетонов марок M200—M300 соответствуют требованиям проектов. В настоящее время в Миннефтегазстрое принято решение о широком внедрении прогрева на заводах ЖБИ. Намечено перевести на тепловлажностную обработку продуктами сгорания природного газа к 1985 г. 48 заводов общей годовой мощностью около 1,8 млн. м<sup>3</sup> бетона. В результате внедрения этого прогрессивного метода в XI пятилетке ожидается получить экономический эффект в сумме около 11 млн. р. и уменьшить годовой расход природного газа на 245 млн. м<sup>3</sup>.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новый способ тепловой обработки изделий / К. Э. Горяйнов, А. Н. Счастливый, С. Ф. Бугрим и др. — Бетон и железобетон, 1980, № 1.
2. Малинина Л. А., Куприянов Н. Н. О роли влажности теплоносителя при тепловой обработке изделий. — Бетон и железобетон, 1979, № 10.

## Введение добавок — путь к сокращению энергозатрат

Промышленность сборного железобетона относится к наиболее крупным потребителям энергии среди других отраслей строительной индустрии. Ежегодно на производство изделий затрачивается около 12 млн. т усл. топлива, большая часть которого расходуется на тепловую обработку продукции.

Снижение температуры прогрева изделий на 20—25°C при сохранении прежней продолжительности тепловой обработки (13—15 ч) дает возможность примерно на 30% сократить расход пара на тепловлажностную обработку (ТВО). Кроме того, бетон получается более высокого качества, так как основные процессы, вызывающие нежелательные деструктивные явления в нагреваемом бетоне, значительно интенсифицируются при температурах, превышающих 60°C.

Достаточный прирост прочности бетона при низкотемпературном прогреве может быть получен при введении в бетонную смесь химических добавок. Так, исследования сотрудников НИИЖБ и Красноярского Промстройинипроекта показали (см. таблицу), что введение добавок ННХК и НК обеспечивает достаточную прочность бетона при низкотемпературном прогреве.

Режим ТВО, ч (°С)	Добавка, % массы цемента	$R_{сж}$ , МПа, в возрасте		Экономия пара на ТВО, %
		4 ч	28 сут	
2 + 3 + 8 + 2 (80)	—	17,6	26	—
2 + 3 + 8 + 2 (55)	3% ННХК	18,7	27,9	42
2 + 3 + 8 + 2 (55)	3% НК	17,9	27,1	42
2 + 3 + 6 + 2 (80)	—	21,8	28,4	—
2 + 3 + 6 + 2 (70)	0,3% ПАЩ-1	23	31,9	17
2 + 3 + 8 + 2 (95)	—	13,4	19,6	—
2 + 3 + 8 + 2 (75)	0,6% ПАЩ-1 и 0,03% НК	15,7	22,9	27
2 + 3 + 8 + 2 (75)	0,2% СДБ и 0,2% NaOH	14,3	21,9	27

Пластифицирующие добавки, снижающие водосодержание бетонных смесей и тем самым интенсифицирующие процесс твердения бетона, также позволяют по-

низить температуру прогрева. Например, введение добавки ПАЩ-1 при сохранении той же удобоукладываемости смеси, что и у бетона без добавки, дает возможность проводить тепловую обработку бетона при 65—70°C вместо 80°C.

Еще больший эффект может быть получен при использовании суперпластификаторов. Так, введение добавки С-3 (0,7% массы цемента) дает возможность понизить температуру изотермического прогрева до 60°C, при этом прочность бетона после ТВО превышает прочность аналогичного бетона без добавки.

Значительный интерес в последние годы вызывает использование комплексных многокомпонентных добавок, которые при их незначительной стоимости позволяют эффективно воздействовать на технологические и физико-механические показатели бетона и не обладают недостатками, нередко присущими их отдельным составляющим. Так, использование комплексной добавки ПАЩ-1 + НК позволяет, кроме понижения температуры прогрева, повысить на 2—4 марки морозостойкость и на 1,5—2 марки водонепроницаемость бетона благодаря дополнительному (2—4%) воздухововлечению и снижению  $V/C$ . Ускорители твердения, не снижая пластифицирующего действия добавок, интенсифицируют процессы гидратации. В результате комплексные добавки, состоящие из пластификатора и ускорителя твердения, можно с успехом применять на заводах ЖБИ для изготовления сборных изделий при пониженной температуре прогрева, или при ТВО по сокращенным режимам. Например, использование комплексных добавок ПАЩ-1 + НК и СДБ + NaOH позволяет понизить температуру прогрева изделий на 20—25°C.

Аналогичный эффект достигается и введением в состав бетона ускорителей твердения в комплексе с суперпластификаторами. Например, совместное введение ННХК и С-3 позволяет понизить температуру прогрева изделий на 35—40°C [2].

Одно из преимуществ комплексных добавок, состоящих из пластификатора и

ускорителя твердения, заключается в значительном снижении расхода довольно дефицитных ускорителей твердения. Следует отметить, что эффект от применения пластификаторов и комплексных добавок в ряде случаев может быть использован не только для понижения температуры прогрева или сокращения режима ТВО, но и одновременно для повышения удобоукладываемости смеси или для уменьшения расхода цемента.

При повышении удобоукладываемости смеси улучшаются условия труда и снижается энергоемкость ее приготовления. Сокращение расхода цемента имеет немаловажное значение для снижения энергозатрат на производство железобетона (на производство 1 т порландцемента расходуется около 200 кг усл. топлива).

В настоящее время на заводах треста Тулжелезобетон Главприокстроя Минпромстроя СССР внедрен низкотемпературный прогрев железобетонных изделий и конструкций с добавками ПАЩ-1 и ПАЩ-1 + НК. В 1981 г. за счет сокращения расхода пара достигнута экономия около 500 т усл. топлива. Экономический эффект от применения добавок благодаря уменьшению расхода пара и цемента составил 1—1,5 р/м<sup>3</sup>. Производственные испытания НИИЖБ и ГлавмособлстройЦНИЛа на Дмитровском ДСК Главмособлстроя подтвердили возможность низкотемпературного прогрева изделий из бетона с добавками ПАЩ-1 + НК и ПАЩ-1 + СН, изготавливаемых по кассетной технологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маликина Л. А. Тепловлажностная обработка бетона. М., Стройиздат, 1977.
2. Рапопорт Б. Е., Ратинов Б. В., Розенберг Т. И., Крыжановский И. И., Иванов Ф. М. Оптимизация тепловлажностной обработки бетонов с помощью добавок. — Бетон и железобетон, 1981, № 8.

## Оптимизация режимов производства и потребления тепловой энергии

Рационально использовать топливно-энергетические ресурсы на предприятиях промышленности сборного железобетона можно только совместными усилиями энергетиков и технологов. Видимые причины перерасхода и расточительства тепловой и электрической энергии — утечка пара, негерметичность камер пропаривания, нерациональное использование освещения и т. д. — на передовых предприятиях в основном устранены, поэтому необходимо искать невидные резервы экономии.

На производство железобетонных изделий в топливно-энергетическом балансе предприятий расходуется (в переводе на условное топливо) электроэнергия — от 5 до 17%, а тепловой энергии — от 83 до 95%. Многие предприятия имеют производственно-отопительные котельные, составляющие вместе с тепловыми сетями и теплоиспользующими установками единую систему. Технические неисправности или отклонения от установленного режима работы в любой части системы теплоснабжения и потребления неизбежно приводят к увеличению расхода топлива.

Обычно в котельных установлены котлы типа ДКВР с разрешенным давлением пара 1,3 МПа. При нагрузке от 50 до 120% номинальной котлоагрегат должен работать при давлении пара не ниже 0,9—1 МПа. Эксплуатация котлов при давлении пара ниже 0,6 МПа не допускается. При понижении давления и нагрузке свыше 120% значительно уве-

личивается влажность пара и снижается к.п.д. Изменение нагрузки вызывает значительные колебания уровня воды в барабане, увеличение влажности пара и снижение к.п.д. Например, нельзя одновременно включать в работу целую группу камер пропаривания, что бывает при односменной и двухсменной работе, когда камеры и формы закреплены за бригадами.

Строгое соблюдение технологического режима, при котором тепловая обработка изделий начинается по мере заполнения камер, позволило при том же расходе пара повысить среднесуточный к.п.д. котлоагрегата с 88,2 до 89,2% и уменьшить расход топлива на 1,1%. Средняя тепловая нагрузка комбината в летнее время составляет 9,4 т/ч, поэтому для работы выбран котел с наивысшим к.п.д. именно при этой нагрузке. Однако превышение номинальной производительности (рис. 1) ведет к перерасходу топлива, снижению давления пара, ухудшению его качества, что отрицательно сказывается на тепловой обработке и качестве изделий. Растопка и ввод в действие еще одного котла на несколько часов для компенсации нагрузки приведет к перерасходу топлива до 3%.

При выравнивании тепловых нагрузок можно установить на длительный период оптимальное распределение нагрузки между несколькими работающими котлами с учетом особенностей каждого из них по результатам теплотехнических испытаний. Это позволяет сэкономить в

отопительный период еще 0,5—1% топлива.

Поддерживать стабильное номинальное давление пара на коллекторе котельной и снабжать потребителей паром высокого качества в необходимом количестве можно только с помощью установки автоматических регуляторов давления перед всеми группами потребителей, а также дроссельных шайб, рассчитанных на максимальное потребление, и регуляторов температуры перед каждой теплоиспользующей установкой. При отсутствии регуляторов и диафрагм увеличивается расход пара, понижается давление в системе и котлы, как правило, не могут работать при номинальном давлении. Влажность пара значительно превышает норму, что усугубляет его нехватку.

ВНИИжелезобетоном разработаны «Рекомендации по улучшению работы систем парового теплоснабжения и камер тепловой обработки на предприятиях сборного железобетона» (М., 1960). Однако они применены на очень немногих предприятиях. Котельная комбината отпускает насыщенный пар давлением 1 МПа с температурой 179°C и влажностью не более 0,5%. Перед каждой группой теплоиспользующих установок смонтированы регуляторы давления прямого действия. Каждый потребитель получает пар требуемого давления независимо от его количества. За регулятором давления пар перегревается и поступает в теплоиспользующие установки сухим.

Основная масса пара проходит до теплого пункта по магистральному трубопроводу, который служит аккумулятором, сглаживающим резкие изменения нагрузки потребителей, например при работе автоматических регуляторов температуры камер пропаривания. Конденсат от регистров бункеров подогрева, калориферов, водоподогревателей собирается в баки станций перекачки и насосами транспортируется в котельную. Поскольку согласовать режим возврата конденсата от многих групп потребителей практически невозможно, его принимают без ограничений в промежуточную емкость, откуда с помощью насо-

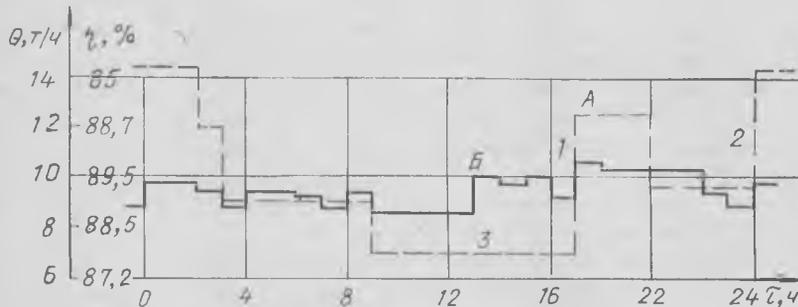


Рис. 1. Суточная тепловая нагрузка комбината в летнее время

А — при одновременном пуске пара в камеры после дневной и вечерней смены; Б — при включении камер в работу по мере их заполнения; 1 — пик нагрузки при включении камер после дневной смены; 2 — пик после вечерней смены; 3 — постоянная нагрузка двухъярусных станций; h — к.п.д. котла при данной нагрузке

са, управляемого регулятором уровня, закачивают в бак деаэратора для удаления растворенного в нем кислорода.

Выполнение упомянутых Рекомендаций и повышение давления пара позволило организовать работу котлов в номинальном режиме и сократить удельный расход топлива на выработку тепловой энергии со 166 до 161 кг усл. топлива на 1 Гкал.

Для эффективного использования энергии пара в камерах пропаривания необходимо прежде всего соблюдать режим тепловой обработки железобетонных изделий и уменьшить непроизводительные затраты энергии. Температура в камере должна подниматься с заданной скоростью (обычно 18—20° С/ч). Этого можно достичь и при отсутствии регуляторов температуры с помощью дроссельных шайб, установленных после запорной арматуры на вводе пара в камеру. Регулятор поддерживает на группе камер давление с точностью до  $\pm 0,01$  МПа, а шайба пропускает при стабильном давлении количество пара, необходимое для подъема температуры с заданной скоростью. Диаметр отверстий шайб и давление после регулятора определяются по методике Рекомендаций. При этом необходим строгий контроль за своевременным включением и отключением пара.

Автоматические программные регуляторы температуры ПРТЭ, Р-31 и др., предотвращая нарушения режима тепловой обработки, уменьшают расход тепловой энергии. Они дают команду на включение пара, когда нижняя граница зоны нечувствительности при заданной в определенный момент времени температуре становится равной температуре в камере (рис. 2,а). Пар отключается при повышении температуры до верхней границы зоны нечувствительности. Таким образом, пар подается импульсами, длительность которых в несколько раз меньше времени пауз, следовательно, нагрузка (расход пара за время импульса) в несколько раз больше средней, необходимой для подъема температуры с заданной скоростью. Во время паузы, особенно в начале нагрева, пар в камере конденсируется, давление становится ниже атмосферного и происходит инфильтрация холодного воздуха в камеру, что снижает качество поверхности изделий и увеличивает расход пара.

Если установить после запорной арматуры шайбу, рассчитанную на пропуск несколько большего, чем требуется, количества пара, то время импульса увеличивается, а нагрузка уменьшается (рис. 2,б). После команды регулятора «закрывать» лучше продолжать подавать пар, но несколько в меньшем коли-

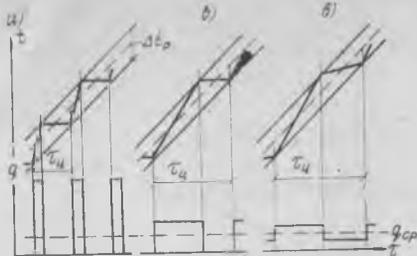


Рис. 2. Регулирование скорости подъема температуры в камере программным регулятором

а — без дроссельной диафрагмы; б — с дроссельной диафрагмой; в — при двух сечениях прохода пара;  $\Delta t_p$  — зона нечувствительности регулятора;  $\tau_{ц}$  — период колебания регулятора

честве (рис. 2,в). При этом «дыхание» камеры прекращается, а нагрузка в течение всего времени подъема температуры близка к средней. Для этого нужно установить второй запорный клапан, который включен на время подъема температуры, или запорную арматуру с электродвигательным приводом, которая обеспечивает оба требуемых сечения прохода.

Программные регуляторы температуры имеют 24-часовой цикл, поэтому необходимо каждый раз вручную устанавливать задатчик на нулевую отметку. Он рассчитан на определенную начальную температуру, однако температура в камере после закрытия крышки отличается от расчетной: зимой, в начале рабочей недели снижается до  $+10^{\circ}\text{C}$ , а в конце недели достигает  $+40^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре можно сократить время предварительной выдержки, а регулятор его продлевает (рис. 3,а).

Наряду с программным регулятором можно применить систему, состоящую из командоаппарата (КЭП-12) и контактного термометра (логометра или электронного моста с однопозиционным контактным устройством). После закрытия крышки камеры включается командоаппарат, который после предварительной выдержки дает команду на включение. Стабильное давление и диафрагма с достаточной точностью обеспечива-

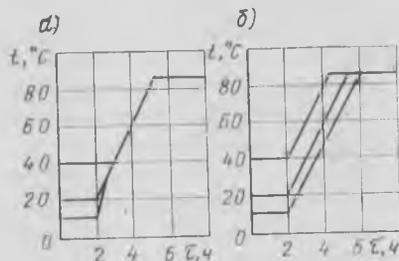


Рис. 3. Изменение температуры в камере при различной начальной температуре

а — с программным регулятором температуры; б — без программного регулятора при стабильном давлении пара и установке диафрагмы

ют контроль работы подъема температуры с непрерывной подачей пара (рис. 3,б). При достижении заданной температуры контактный термометр дает команду на отключение. В изотермическом режиме температура поддерживается в пределах зоны нечувствительности термометра ( $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ). От командоаппарата можно взять сигналы на включение вентилятора для охлаждения камеры и контроля за ее работой. Время цикла (один оборот барабана) устанавливается любое.

Такая автоматика смонтирована на всех пропарочных камерах завода ЖБИ № 5 Главмоспромстройматериалов и безотказно работает более 10 лет. Расход пара составляет 95 Мкал/м<sup>3</sup>.

Организация работы котлов в режиме с максимальным к.п.д. согласование режимов производства и потребления тепловой энергии, улучшение теплоиспользующих установок позволили сократить удельный расход топлива, с учетом экономии теплоэнергии, на 15%.

## Авторские свидетельства

№ 12\*

№ 817167. Л. С. Махвиладзе, С. Т. Давидов, Р. Н. Чиргадзе, и др. Грузинский филиал СКТБ по промышленности строительной индустрии. Узел соединения плит перекрытия и внутренней стеновой панели.

№ 817168. М. А. Бедиашвили, Р. Х. Габузов, Т. Х. Джаманша и др. ТбилЗНИИЭП. Сборное железобетонное перекрытие.

№ 817175. Г. И. Гескин, Р. Н. Крановский, М. Д. Портнов и И. И. Порошин. Донецкий Промстройинициативный проект. Опалубка.

№ 817176. О. П. Мурыгин, Г. Г. Семенов и С. Н. Фирсов. Оргтяжстрой. Объемно-переставная опалубка.

№ 817177. З. В. Додосьян и С. Д. Вишневский. Донецкий филиал ин-та Атомэнергостройпроект. Подвижная опалубка.

№ 817178. В. П. Колпаков, Ю. М. Холодков, Н. А. Фоминов и С. И. Мислер. СКБ-Мосстрой. Опалубка для возведения монолитных строительных конструкций.

№ 817179. И. В. Панасюк, В. А. Хомайко, Э. И. Кушнир и С. И. Лысенко. Днепропетровский филиал НИИСП Госстроя УССР. Способ изготовления бетонных и железобетонных изделий с криволинейной или ломаной поверхностью.

№ 817183. М. Г. Мелкумян и Р. А. Вадалян. АрмНИИСиА. Многоэтажное здание сборно-монолитного типа для сейсмических районов.

\* Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1981.

## Повысить эффективность использования энергии при производстве железобетона

В Минпромстрое СССР проводится значительная работа по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, что нашло отражение в снижении непроизводительных потерь и удельных расходов энергии. Так, с 1968 по 1978 г. удельный расход энергии при производстве 1 м<sup>3</sup> сборного железобетона снизился на 14% (см. таблицу).

Вид энергии	Удельный расход энергии кВт·ч/м <sup>3</sup> по годам			
	1968	1970	1975	1980
Электрическая, кВт·ч/м <sup>3</sup>	25,5	24,8	23,8	23
Тепловая, тыс. ккал м <sup>3</sup>	572	495,9	446,3	426,8

По заказу министерства Белорусским филиалом ЭНИНа им. Г. М. Кржижановского Минэнерго СССР разработана Инструкция по нормированию расхода тепловой энергии на заводах сборного железобетона Минпромстроя СССР (ВСН 05-73), а Белорусским институтом строительства и архитектуры Госстроя БССР разработаны рекомендации по сокращению непроизводительных потерь тепловой энергии при производстве сборного железобетона. Конструкторско-технологическим институтом Минпромстроя СССР разработана Временная инструкция по нормированию расхода электроэнергии при производстве железобетонных изделий, товарного бетона и раствора, тепловой энергии на отопление помещений, а также проведена работа, направленная на повышение степени автоматизации процессов тепловлажностной обработки железобетонных изделий и широкого внедрения в производстве оптимальных технических решений. Такой модернизации подвергнуто 37% всех пропарочных камер.

В схемах автоматизации реконструированных камер используются различные программные регуляторы температуры, которые управляют исполнительными устройствами для изменения количества подаваемого пара,

Автоматизация процессов тепловлажностной обработки изделий дает возможность уменьшить продолжительность изотермического прогрева до 3—4 ч, при этом соответственно сокращается расход пара.

Сотрудники КТБ Стройиндустрия Минпромстроя СССР и ВНИИЖелезобетона на заводе ЖБИ № 2 в Рязани проводят экспериментальную проверку ямных пропарочных камер новой конструкции. Значительное сокращение удельного расхода пара на тепловую обработку изделий ожидается путем использования экранной изоляции из полиэтилена и стеклопластика. Минским филиалом КТБ разработано 6 вариантов решения ограждающих конструкций ямных камер. Подвергаются проработке типовые решения других элементов камер: крышки, системы подачи пара, системы вентиляции и возможности применения насосов-кондиционеров.

Хороших результатов в использовании автоматизированных пропарочных камер добились энергетики Главтатстроя. На заводе ЖБК треста Промстройматериалы автоматизированы пропарочные камеры с помощью системы «Пуск-ЗП». Практикой доказано, что пневматические исполнительные механизмы работают надежно только на чистом и сухом сжатом воздухе, поэтому смонтировали систему его сушки и очистки, состоящую из электропечи и фильтров грубой и тонкой очистки. Во все фильтры засыпается силикагель. Необходимо отметить, что эффективность работы автоматизированных пропарочных камер можно было бы повысить путем организации специальных наладочных групп и повышения ответственности инженерно-технических работников и руководителей предприятий за сохранность работоспособности этих устройств.

Творчески подходят к экономии топливно-энергетических ресурсов энергетики завода объемно-блочного домостроения Главкраснодарпромстроя. Ими внедрены мероприятия по автоматизации управления процессом термообработки железобетонных изделий, системы вентиляции и отопления.

Большая работа по снижению норм

расхода тепловой энергии на производстве железобетонных изделий проводится в объединении Проммонтаж Минпромстроя БССР. В 1980 г. объединением выпущено свыше 1 млн. м<sup>3</sup> железобетонных изделий, за последние 10 лет удельный расход тепловой энергии на изготовление 1 м<sup>3</sup> продукции снижен на 70 ккал и составляет 341 ккал. На предприятиях установлены приборы учета тепловой энергии, норма энергозатрат на выпуск оборного железобетона дифференцирована по предприятиям, зависит от вида изделий и принятого режима термообработки. Ежегодно на всех предприятиях составляются и выполняются планы-графики ремонта касет, пропарочных камер, гидрозатворов и крышек пропарочных камер.

До 40% общего объема железобетона выпускается на предприятиях, специализированных по видам изделий, что позволило значительно увеличить коэффициент загрузки пропарочных камер. Наибольшая специализация изделий достигнута на заводах сборного железобетона № 3, 6, 12 и Оршанском заводе ЖБК, где выпуск однотипных изделий составили соответственно 84, 52, 52 и 83% общего объема продукции этих предприятий.

Применены новые методы термообработки железобетонных изделий, позволяющие сократить продолжительность этой операции для плит пустотного настила до 9 вместо 11 ч, для плит покрытия до 13 вместо 15 ч. Увеличение предварительной выдержки изделий в камерах за счет выходных и предпраздничных дней сократило время подъема температуры и изотермической выдержки изделий в камерах. На заводе сборного железобетона № 12 термообработка центрифугированных труб в туннельных камерах производится горячим воздухом. Годовая производительность камеры 20 тыс. м<sup>3</sup> труб.

Внедрена эжекторная система подачи отработанного пара в камеры для повторного использования, две такие установки эксплуатируются на заводе сборного железобетона № 11. Внедрены камеры непрерывного действия (туннельные и щелевые) на заводах сборного

железобетона № 6, 7, 12 в количестве 15 шт. Камеры непрерывного действия общей производительностью 92 тыс. м<sup>3</sup> будут введены в эксплуатацию на заводах сборного железобетона № 10 и 11.

Представляет интерес использование электроэнергии вместо пара для термообработки железобетонных изделий на Минском ДСК № 3. Термообработка плит пола для блок-комнат осуществляется здесь в электромагнитной установке ЭМУ-3, спроектированной СКБ с опытным производством Института тепло- и массообмена АН БССР и Минским филиалом Гипронефтестроя Минпромстроя СССР.

Работа электромагнитной установки основана на принципе разогрева вихревыми токами металлического сердечника, помещенного внутри индуктора. Индуктором служит обмотка установки, создающая переменное электромагнитное поле промышленной частоты. Сердечником является металлоформа и стальная арматура железобетонного изделия. За счет перематывания и вихревых токов происходит выделение тепла непосредственно в форме и арматуре изделия.

При таком способе термообработки достигается высокая равномерность распределения температуры по толщине изделий и конструкций вследствие выделения тепла изнутри бетонного изделия и с наружной поверхности. Поэтому представляется возможным интенсифицировать нагрев изделий и конструкций, не опасаясь, что в еще непрочном бетоне возникнут значительные температурные напряжения и деформация. Потребляемая мощность электромагнитной установки — 506 кВт, при этом удельный расход электроэнергии составляет 135 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> бетона, или на 30% ниже, чем при использовании трубчатых электронагревателей.

Эксплуатация с 1973 г. электромагнитной установки показала, что ЭМУ-3 надежна в работе, проста в управлении, повышает степень автоматизации производственного процесса, улучшает санитарно-гигиенические условия труда. Длительность процесса термообработки сократилась, а оборачиваемость металлических форм повысилась вдвое.

Большое внимание вопросам повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов уделяют общественные организации, проводящие различные смотры и конкурсы. В прошлом году завод ЖБИ треста № 16 Минпромстроя БССР за активную работу по экономии ресурсов был представлен к награждению Почетной грамотой и денежной премией в размере 3 тыс. р.

Наряду с некоторыми достижениями министерстве имеются свои трудности и нерешенные проблемы, что снижает эффективность работы по рационализации потребления энергии при производстве сборного железобетона. Важнейшими среди них являются организационные. Не на всех предприятиях штаты энергетической службы укомплектованы квалифицированными специалистами-энергетиками. В типовых штатных расписаниях трестов «Железобетон» отсутствуют должности главного энергетика, тогда как в строительных и специализированных трестах эти должности предусмотрены, хотя потребление энергии промышленными трестами значительно больше, чем строительными организациями. В минпромстроях, главстроях и объединениях главные энергетика организации входят в состав отделов механизации, которые не занимаются промышленными предприятиями строительств. Получается организационный разрыв между энергетическими и технологическими службами.

С 1968 г. на предприятиях Министерства промышленного строительства СССР проводится систематическая работа, направленная на экономное и бережливое расходование материальных ресурсов, главным в которой является внедрение организационно-методических основ планирования экономии топливно-энергетических ресурсов. План организационно-технических мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов осуществляется путем повышения технического уровня, совершенствования организации и технологии производства.

Источниками формирования такого плана являются установленные задания по экономии; данные анализа резервов использования энергетических ресурсов, полученные внутриведомственными проверками, и обследования; изобретения и рационализаторские предложения рабочих и инженерно-технических работников, а также предложения, вносимые на технических советах, производственных совещаниях, партийно-хозяйственных активах, общих собраниях; результаты исследований, передовой опыт других строительных организаций.

Решающим фактором повышения эффективности использования энергии является технический прогресс. Значительная часть планируемой в ближайшие годы экономии должна быть получена путем внедрения прогрессивной технологии и современного энергопотребляющего оборудования, а также других технических мероприятий, требующих капитальных вложений.

## Трибуна сореvнующихся

УДК 69.055:620.9.004.18

### Экономно и рационально использовать ресурсы

Харьковский ордена «Знак Почета» ДСК № 1 Харьковжилстроя Минпромстроя УССР входит в пятерку крупнейших предприятий отечественного индустриального домостроения. Ныне его мощность превышает 650 тыс. м<sup>2</sup> общей площади в год, ДСК осваивает 75 млн. р. капиталовложений, его подразделения производят 467 тыс. м<sup>3</sup> сборного железобетона.

Комбинат является одним из передовых строительных коллективов страны. Успешны результаты производственной деятельности ДСК из пятилетки в пятилетку. За достижение высоких качественных показателей в выполнении заданий десятой пятилетки, ее завершающего года и социалистических обязательств, принятых в честь XXVI съезда КПСС, комбинат награжден Памятным знаком ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ «За высокую эффективность и качество работы в десятой пятилетке» и переходящим Красным знаменем ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ. Имя коллектива занесено на Всесоюзную доску Почета ВДНХ СССР.

Поучителем опыт ДСК в области интенсификации производства, экономного и рационального использования ресурсов.

Комбинат отличается от родственных предприятий высоким уровнем автоматизации производственных процессов. Здесь работают большое число конвейерных линий по изготовлению и отделке сборного железобетона, три полуавтоматических вибропроткатных стана БПС-6, более 40 виброкасетных установок, автоматизированные бетонорастворные узлы, имеется мощное арматурное производство, экономичные транспортеры, бетоноукладчики, распалубщики, затирочные машины, другая разнообразная высокопроизводительная техника.

На ДСК внедрена комплексная система управления качеством строительной продукции — КСУК СП. Разработано 60 технологически взаимосвязанных стандартов преимущественно на изготовление сборного железобетона, из которых 45 уже внедрено. Это существенно повысило культуру труда и технико-экономические показатели продукции. В настоящее время 86% выпускаемого сборного железобетона аттестовано по первой категории качества.

В содружестве с НИИСП Госстроя УССР разрабатывается и внедряется ав-

томатизированная система управления технологическими процессами приготовления и распределения бетонной смеси — «АСУ — ТП-Бетон». Внедрение ее первой очереди позволит централизованно выполнять заказы на приготовление смеси, управлять составом и режимом ее приготовления, соответствующими транспортно-складскими операциями, производить расчет технико-экономических показателей. Начаты работы по внедрению второй очереди системы, которая предусматривает автоматизацию процессов тепловой обработки бетона, изготовления арматурных элементов; разработку оперативно-диспетчерского управления производством, комплектацией, транспортированием и монтажом сборного железобетона.

Успешно решается на комбинате проблема экономного и рационального использования энергетических ресурсов. Удельный расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> сборного железобетона уменьшен за годы десятой пятилетки с 18,8 до 17,1 кВт·ч. На ДСК организовано дистанционное с единого пульта управление энергетическими установками. Режимы пропаривания регулируются также централизованно. Соединив воздуховодом компрессорные станции, новаторы ДСК существенно стабилизировали режим их нагрузки и обеспечили предприятие сжатым воздухом, значительно уменьшив число одновременно работающих машин. Это экономит комбинату более 3,5 млн. кВт·ч электроэнергии.

Громоздкую энергосхему главного привода вибропрокатных станов заменили компактной — управляемый тиристорный выпрямитель-двигатель (УТВ-Д) на мощных силовых тиристорах ТД-250. Эффективнее стало использоваться оборудование, высвободились производственные площади.

Автоматизировано 4 бетонорастворных завода, при этом применены унифицированные схемы и приборы. По задаваемой оператором с пульта управления программе производят выбор марки бетона, устанавливая число замесов. На 40 чел. уменьшилось число операторов, более точной стала дозировка компонентов смеси, существенно повысилось качество продукции; ежегодно на этом экономится 65 тыс. р.

Рациональнее стали использовать пар для тепловой обработки изделий. Изменив схему подачи пара, сократив без ущерба подачу «острого» пара в зону головки станов на 1,4 т/ч, энергетики сэкономили за 1980—1981 гг. более 2 млн. м<sup>3</sup> газа.

Рационализаторы улучшили термовлажностную обработку стропильных ферм, реконструировав пропарочные (ямного типа) камеры. В днищах камер образовали паровые рубашки, а по очереданиям фермы расположили перфорированные трубы. Регулировка температурного и влажностного состояния обработки изделий производится в автоматическом режиме с помощью программных регуляторов. Цикл обработки таким образом сокращен с 27 до 19 ч, увеличился выпуск продукции, почти на 10 тыс. Гкал сократился расход тепловой энергии.

В автоматическом режиме по системе «газ — воздух» работают котельные ус-

тановки. Автоматическое регулирование горения газа, стабилизация уровня воды в деаэраторе повысили культуру труда, позволили обходиться меньшим числом рабочих. Ежегодная экономия предприятия составила 1,5 млн. м<sup>3</sup> газа и более 100 тыс. м<sup>3</sup> воды.

Применение химического пеногасителя для оптимизации водного режима котла позволило свести к минимуму вспенивание щелочной воды и унос ее паром, резко сказывавшиеся на качестве пара. За год сберегается 1,2 млн. м<sup>3</sup> природного газа и 102 тыс. м<sup>3</sup> воды.

Применяемый на ДСК катионитовый способ смягчения воды позволил существенно уменьшить накипь на поверхности котельных агрегатов, что отрицательно сказалось на температурном режиме котлов. Разработанный на ДСК способ химической очистки котла препаратом на основе водного конденсата удобен, прост и очищает котлы за 2—24 ч.

На комбинате около 60% возврата конденсата используется вторично. Повторно используется вода после охлаждения машин арматурного участка формовочного цеха № 3. В формовочном цехе № 6 действует оборотная система водоснабжения. Повторное применение воды после использования ее на шаровых мельницах и загрязненного конденсата для приготовления шлама при производстве ячеистого бетона позволило помимо экономии воды быстрее обеспечивать схватывание смеси, используя тепло конденсата, и в конечном счете выпускать больше продукции без увеличения оборудования и производственных площадей. Тепловая энергия печей обжига керамзита используется также для сушки гранул, что сберегает 8 млн. м<sup>3</sup> газа в год. Сбрасываемые ранее в дренаж остаточные воды «водяной подушки» применяют для приготовления солевого раствора. Чистый конденсат для подпитки паровых котлов энергетики собирают в специально созданные резервуары, ежегодная экономия составляет 17 тыс. р.

За годы десятой пятилетки удельные нормы расхода топлива уменьшились на 4,8%, электроэнергии — на 9,1%, теплоэнергии — на 10,8%.

Поучителен опыт совершенствования кассетной технологии производства, по которой на ДСК изготавливают свыше 1/3 сборного железобетона. Комбинат располагает 50 кассетными установками с 10, 12 и 14 отсеками, с рациональной системой пароснабжения и бесшланговыми соединениями оригинальной конструкции, исключающими потери тепла.

Улучшение пароснабжения кассет методом принудительного разрежения воздуха в отсеках и интенсивной циркуляции теплоносителя вдвое ускорили разогрев бетона, на 10°C уменьшен перепад температур по плоскости, сокращено время подачи пара в кассету, на 3 ч уменьшился режим термообработки. Снижился расход цемента.

Внедрена конструкция кассеты с тепловым отсеком толщиной 98 мм (вместо ранее применяемого 150 мм). Это позволило в пределах габаритов распалубочной машины увеличить число формовочных отсеков до 12. Вместо перфорированных труб отсеки оснастили горизонтальными диафрагмами. Это ликвидировало трудоемкие работы по замене

перфорированных труб, которые часто выходили из строя.

Режимом обработки железобетонных изделий управляют электронные программные регуляторы ПРТЭ-2И, а контролируют процесс многоотечные приборы серии КСИ-4. За год сберегается 592 тыс. кВт·ч электроэнергии, эффективнее используется оборудование, меньше изнашиваются нагревательные элементы, к минимуму сведен брак.

КИСИ и ДСК разработали принципиально новую конструкцию теплового отсека, которая позволяет ускорять процесс теплоподачи, на 20—25% сократить продолжительность термообработки, на 2—3°C — перепад температур на обогреваемой поверхности, увеличить прочность бетонов.

Существенное улучшение технико-экономических показателей достигнуто на основе химизации производства, за счет чего за годы десятой пятилетки средний расход цемента на 1 м<sup>3</sup> железобетона сокращен на 26 кг, значительно уменьшился общий цикл термообработки и энергоемкость формования, выше стало качество продукции. ХИСИ и ДСК разработали, организовали изготовление и внедрили в производство бетона эффективную добавку — суперпластификатор ХДСК-1\*, увеличивающую подвижность смеси.

Совместно с ХАДИ на комбинате внедрен в производство комплекс химических добавок на основе едкого натра и воздухововлекающей нейтральной смолы (СНВ), что позволяет ежегодно экономить 3700 т цемента. Эта добавка, применяемая в вибропрокатной технологии, по сравнению с бездобавочными бетонами экономит 30 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона и обеспечивает его распалубочную прочность через 2,5 ч.

Разработана и внедрена система автоматизации раздачи газобетонной смеси, что существенно повысило надежность работы оборудования, увеличило выпуск продукции. Автоматизированы дозирование алюминиевой суспензии при формировании ячеистого бетона, что улучшило качество смеси, а также раздача шлама из бассейнов и его подачи из мельницы. Смонтированы магнитные станции управления мельницами. Установлены радионизотопные уровнемеры на всех расходных бункерах дозирования и хранения материалов. Автоматизирован процесс транспортирования молотой извести из мельницы в расходные бункера. В результате производительность работы прессового отделения увеличилась в 1,2 раза, сокращена численность рабочих, расход электроэнергии уменьшился на 175 тыс. кВт·ч в год.

Централизована система горячего водоснабжения. Вместо громоздких и энергоемких водоподогревателей СПД-3077 и ВВН-250 здесь используют два бака-аккумулятора емкостью 50 и 100 м<sup>3</sup>. Упростилось и удешевилось обслуживание, сберегается большое количество тепла.

Автоматизированы выгрузка и транспортирование цемента из вагонов.

\* См. статью И. И. Селиванова, В. Г. Братчикова, О. П. Мчедлова-Петросяна и др. «Пластифицирующая добавка ХДСК-1 в кассетной технологии бетонов» в № 12 нашего журнала за 1981 г.

Ю. АОЯГИ, д-р (Ин-т энергетики, Япония);  
В. Н. САМОЙЛЕНКО, канд. техн. наук (НИИЖБ)

## Работа изгибаемых элементов при действии низких температур

В последнее время в Японии изучено поведение железобетонных элементов при действии низких температур, а в СССР разработаны предложения по их расчету [1—3]. Балки размером 20×40×330 см изготовлялись из бетона следующего состава, кг/м<sup>3</sup>: вода — 147, цемент — 250, песок — 796, щебень 1119, пластифицирующее — воздухововлекающая добавка — 0,64; О. К<sub>л</sub> = 10 ± 2 см; В/Ц = 0,59. Для восприятия поперечной силы устанавливали вязаные хомуты. Балки находились в теплоизолированном коробе. Нагрузку прикладывали в двух точках домкратом. Равномерное охлаждение балок осуществляли жидким азотом. Образцы серий D, E (см. таблицу) были обжаты продольным усилием 5 МПа.

Деформации и ширину раскрытия трещин измеряли датчиками с точностью деления 0,001, или 0,01 мм. Продолжительность испытания охлажденных балок — около 30 ч. Во время эксперимента балки находились во влажном состоянии.

Железобетонные балки рассчитывали по методике СНиП II-21-75 с учетом влияния низкой температуры на физико-механические свойства бетона и арматуры, а также усилий, возникающих от воздействия температуры, как это делается при расчете железобетонных конструкций, подверженных действию повышенной температуры (СН 482-76) [2, 3].

Для определения коэффициентов, учитывающих влияние низкой температуры на свойства бетона, использовали данные проведенного одновременно испытания бетонов.

В результате установлено, что с понижением температуры до —60°С проч-

ность изгибаемых элементов увеличивается на 23—44% по сравнению с нормальной температурой. Исключение составила балка D-2, прочность которой возросла только на 9%. Наибольшее увеличение прочности (44%) наблюдалось в балке С-2 ( $\mu = 1,99\%$ ). В балках с меньшим процентом армирования повышение прочности оказалось примерно одинаковым. Прочность балок с  $\mu = 1,13\%$ , охлажденных до —120°С, увеличилась на 47—48%. Аналогичные результаты получены в опытах ЭКБ по железобетону [2], хотя влажность, а следовательно, и прочность охлажденного бетона были значительно ниже по сравнению с балками, испытанными в Японии. Это указывает на то, что основное влияние на увеличение прочности изгибаемых элементов оказывает повышение предела текучести арматуры при действии низкой температуры. Только в переармированных элементах ( $\mu = 1,99\%$ ) на возрастание прочности заметное влияние оказывает повышение прочности бетона. Большой диаметр арматуры практически не влиял на прочность балок.

Сравнивая расчетные и опытные величины, можно отметить довольно хорошее совпадение (см. таблицу). Отклонение составило 8,3—(—10,8)%. Исключением явилась балка D-2 — (16,1%)

Для изгибаемых элементов, работающих при низких и особо низких температурах, наибольшую опасность представляет хрупкое разрушение, поэтому балки продолжали загружать после достижения предела текучести арматуры. На этом этапе наблюдались значительные деформации балки при незначи-

функционалирует автоматизированный цементный склад. Цемент из вагона подают в приемный бункер, под которым в приемке установлены два пневмокамерных насоса; с их помощью транспортируют сырье к цементным банкам. Разгрузка вагона выполняется одним рабочим за 30—40 мин, раздача по бункерам производится два раза в смену в течение 30 мин. Ликвидирован ручной труд. Годовой эффект составил 108 тыс. р.

На ДСК создано высокомеханизированное арматурное производство. Смонтированы автоматические и полуавтоматические линии сварки плоских и пространственных сеток и каркасов. На 0,3% выросла производительность труда, в 4,6 раза сокращена трудоемкость изготовления 1 т арматурной продукции и в 4,4 раза уменьшена ее себестоимость. Внедрена модернизированная многоточечная машина АТМС-14×75 для сварки пространственных арматурных каркасов плит перекрытия, производящая 40 пог. м в 1 ч. Усовершенствованная на комбинате машина МТП-75 для плоских каркасов сваривает 12 пог. м в 1 мин, что втрое больше, чем серийной выпускаемая машина. Модернизирована машина ГММК для сварки пространственных каркасов, что позволило высвободить 5 рабочих. Созданы участки для приготовления закладных деталей с использованием полуавтоматических установок для сварки под слоем флюса и методом рельефной сварки с применением штампов. Установлен автомат для производства анкеров закладных деталей из отходов арматурной стали. Более 922 тыс. кВт·ч электроэнергии сберегает комбинату новая схема сварки арматурных каркасов, в которой значительно сокращено число сварочных точек. Усовершенствование арматурного производства позволило вдвое сократить численность арматурщиков, сэкономить 5 кг металла на 1 м<sup>2</sup> общей площади домов, экономический эффект составляет 100 тыс. р.

На ДСК накоплен ценный опыт по подбору составов смазок форм. Экономичны используемые здесь консистентные смазки — солидол, консистали в сочетании с парафином (стеарином), предельно растворенным в минеральном масле. Обработанные в аппарате вихревого слоя, эти вещества позволяют получить тонкодисперсные суспензии, сохраняющие жизнеспособность одну-две недели. Материал наносится в виде тумана, расход его минимален.

Экономное, рациональное и бережливое использование ресурсов на Харьковском ДСК-1 позволило значительно повысить эффективность производства, сберечь за годы десятой пятилетки 21 540 т цемента, 2041 т металла, 7708 тыс. кВт·ч электроэнергии, 6226 т топлива и отработать 35 дней на сбереженных ресурсах.

А. В. МАТВЕЕВ, инж.

Шифр образца	t, °C	R <sub>сж'</sub> , МПа	M, кН·м	M <sub>оп</sub> / M <sub>р</sub> 100%		M <sub>т</sub> / M <sub>р</sub> 100%		a <sub>т</sub> , мм	a <sub>т</sub> / a <sub>р</sub> 100%		1/ρ <sub>оп</sub> - 1/ρ <sub>р</sub> 100%	1/ρ <sub>оп</sub> - 1/ρ <sub>р</sub> 100%
				M <sub>оп</sub> / M <sub>р</sub>	M <sub>т</sub> / M <sub>р</sub>	a <sub>т</sub> / a <sub>р</sub>	1/ρ <sub>оп</sub> - 1/ρ <sub>р</sub>					
A-1	20	27,9	46,6/47,8	-2,5	16,1/13,7	2,4	0,23/0,3	-30	5,8/5,3	8,6		
A-2	-60	27,9	58,9/56,6	3,9	48,9/47,6	2,6	0,16/0,28	-75	2,5/2,5	0		
B-1	20	36,8	92,1/92,9	-0,8	26,1/23	11,9	0,17/0,25	-47	6/6,4	-6,6		
B-2	-60	36,8	113,5/111,8	1,5	58/72	-2,4	0,17/0,24	-41	4/3,8	5		
B-3	-120	36,8	135,9/141,6	-4,2	71,6/99	-38,4	0,16/0,23	-43	4,3/4,1	4,6		
R-1	20	36	99/92,9	6,1	18/23	-27	0,28/0,32	-14	6,6/6,5	1,5		
R-2	-60	36	122/111,8	8,3	60/72	-20,1	0,21/0,29	-30	4,5/4	11,1		
R-3	-120	36	147/141,6	3,7	72/99	-36	0,19/0,28	-47	4,4/4,2	4,5		
C-1	20	25,6	125,8/130,4	-10,8	19,3/21	-87	0,16/0,17	-6	8,8/8,4	-4,5		
C-2	-60	25,6	170,9/185,6	-6,6	71,6/72,5	-1,3	0,12/0,15	-25	6,3/6,7	-6,3		
D-1	20	34,7	107,2/102,7	4,2	45,2/42,7	5,5	0,24/0,28	-17	5,9/6	-1,6		
D-2	-60	34,7	117,2/136,1	-16,1	89,4/82,2	8,2	0,28/0,26	7	4,1/4,8	-17		
E-1	20	35,8	144,5/136,9	5,2	43,9/46,4	-5,7	0,22/0,26	-18	7,4/6,8	8,1		
E-2	-60	35,8	177,3/176,7	0,3	99/94,7	4,3	0,21/0,22	-5	5,6/5,3	5,3		

Примечания: 1.  $\mu$  образцов серий A-1, A-2, D-1, D-2 — 0,57%; C-1, C-2 — 1,99%; остальных 1,13%.

3. Диаметр арматуры образцов серий R-1—R-3 — 32 мм; остальных 16 мм.

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

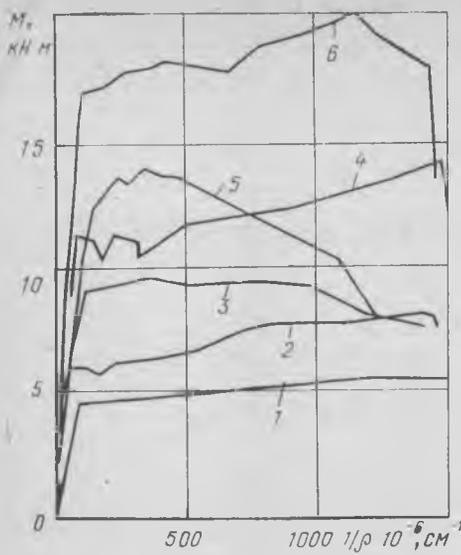


Рис. 1. Изменение средней кривизны испытанных балок после достижения текучести арматуры  
1 — А-1; 2 — А-2; 3 — В-1; 4 — В-2; 5 — С-1; 6 — С-2

тельном увеличении нагрузки (рис. 1). Это указывает на то, что, несмотря на действие низкой температуры, арматура, приравняемая к классу А-II, имела достаточный запас пластических деформаций.

При воздействии низкой температуры заметно увеличивался момент образования трещин, т. е. повышалась трещиностойкость элементов (см. таблицу). При равномерном охлаждении балок до температуры  $-60^{\circ}\text{C}$  величина момента появления трещин элементов увеличилась в 2—3,7 раза, а при  $-120^{\circ}\text{C}$  — в 2,7—4 раза. Такое повышение трещиностойкости в основном объясняется значительным возрастанием  $R_p$ .

При охлаждении балок до  $-60^{\circ}\text{C}$  наибольшее увеличение момента образо-

вания трещин наблюдалось у балок с  $\mu=1,99\%$ . Очевидно, это связано с возникновением наибольших сжимающих усилий в бетоне из-за разности коэффициентов температурной деформации бетона и арматуры. Наименьшее увеличение  $M_t$  отмечалось у балок, нагруженных продольной силой.

Интересно отметить, что у балок серии А с  $\mu=0,57\%$  величина момента появления трещин ( $M_t^{оп}=48,9$  кН·м) приблизилась к величине предельного момента, который может воспринять сечение ( $M_t^{оп}=58,9$  кН·м). Можно ожидать, что в случае охлаждения балок до температуры  $-120^{\circ}\text{C}$  и ниже после появления первой трещины произойдет исчерпание несущей способности, поэтому при проектировании железобетонных конструкций, подверженных действию низких температур, следует принимать более высокий минимальный процент армирования по сравнению с работающими в нормальных условиях. Для определения минимального процента армирования можно использовать формулу

$$\mu_{\min} = \frac{R_{np} m_{6t}}{25 R_a m_{at}}, \quad (1)$$

где  $m_{6t}$ ,  $m_{at}$  — коэффициенты, учитывающие соответственно увеличение прочности бетона на сжатие и предела текучести арматуры, при кратковременном действии низкой температуры. Для балок серии А при  $t=20^{\circ}\text{C}$   $\mu_{\min}=0,23\%$ ; при  $t=-60^{\circ}\text{C}$   $\mu_{\min}=0,52\%$ ; при  $t=-120^{\circ}\text{C}$   $\mu_{\min}=0,61\%$ .

Отклонение опытных и расчетных значений момента образования трещин составило  $(-8)$ — $11,9\%$ . Исключением являются балки с  $\mu=1,13\%$  (серии В, R) (см. таблицу). Это объясняется, по-видимому, тем, что влажность бетона серии В была ниже, чем остальных элементов. Подтверждает это и то, что величина момента образования трещин у балок серии В увеличилась при охлаждении до  $-60^{\circ}\text{C}$  в 2,21 раза, в то время, как у балок серий А и С — в 2,75 и 3,03 раза. В балках серии R большое отклонение между опытными и расчетными значениями момента образования трещин  $(-27\%)$  наблюдалось и при испытании при нормальной температуре. Это означает, что до экспериментов в растянутой зоне возникали значительные внутренние напряжения в результате применения арматурных стержней большого диаметра.

Действие на балки низкой температуры оказывает заметное влияние на характер распределения в них трещин (рис. 2), поскольку уменьшается зона, в которой появляются трещины и увеличивается расстояние между трещинами, особенно у балок с малым процентом армирования. При испытании балок, армированных стержнями большого диаметра, появлялись продольные трещины. При нормальной температуре они возникали на нижней поверхности в зоне действия перерезывающих сил, а при достижении текучести арматуры — в зоне чистого изгиба. При температуре  $-60^{\circ}\text{C}$  первые продольные трещины образовались при достижении арматурой предела текучести. Для полного исключения появления продольных трещин в железобетонных элементах, армированных стержнями большого диаметра-

ра (32 мм и более), необходимо принимать повышенную толщину защитного слоя и устанавливать достаточное число хомутов в зоне действия перерезывающих сил.

Средняя ширина раскрытия трещин в балках при действии низких температур оказалась в основном меньше, чем у балок, находящихся при нормальной температуре (см. таблицу). Особенно отличается ширина раскрытия трещин в балках, армированных стержнями диаметром 32 мм.

Расчетные значения средней ширины раскрытия трещин, определенные по СНиП II-21-75 (для  $\sigma_a=350$  МПа), заметно выше средней ширины раскрытия трещин, что позволяет более осторожно оценивать ожидаемое их раскрытие.

С понижением температуры балок их деформативность уменьшалась (см. таблицу, рис. 3). Средние кривизны балок до образования трещин примерно в 2 раза меньше кривизны балок, находящихся в нормальных условиях, что объясняется увеличением модуля упругости бетона при действии низких температур. После образования первой трещины в охлажденных балках наблюдалось резкое скачкообразное увеличение средней кривизны балки, чего не отмечалось при нормальной температуре.

При  $M_t=0,8 M_p$  равномерное охлаждение до температуры  $-60^{\circ}\text{C}$  вызывало снижение средней кривизны оси балок в 1,3—2,4 раза по сравнению с испытанными при нормальной температуре. Наибольшее снижение наблюдалось у балок с малым процентом армирования. При охлаждении до  $-120^{\circ}\text{C}$  деформативность балок была примерно в 1,3 раза меньше по сравнению с испытанными при температуре  $-60^{\circ}\text{C}$ . Существенного влияния на величину средней кри-

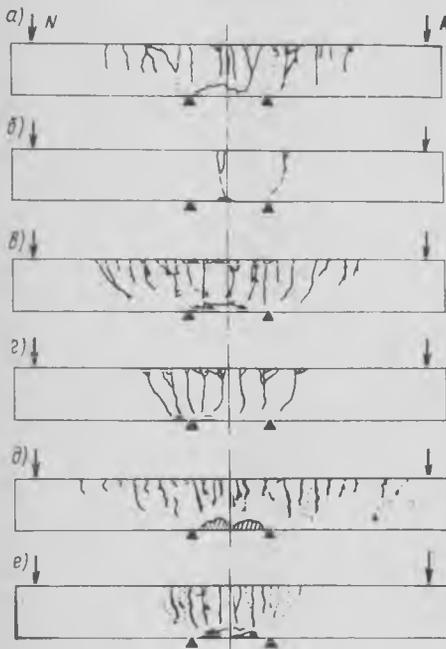


Рис. 2. Характер распределения трещин в опытных балках  
а — А-1; б — А-2; в — В-1; г — В-2; д — С-1; е — С-2

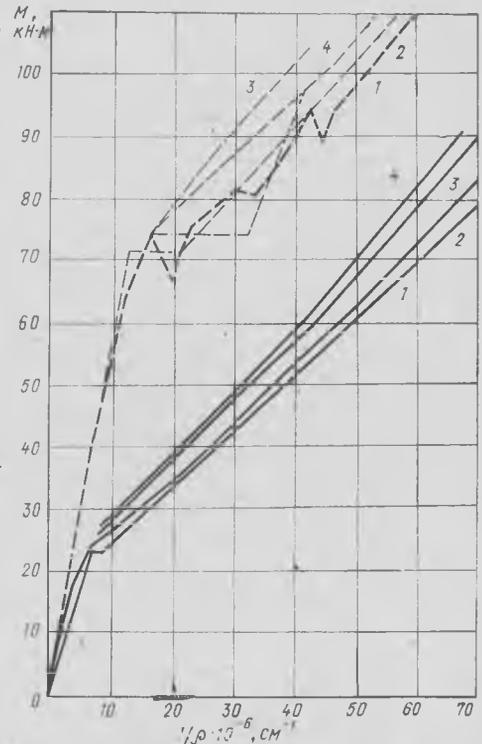


Рис. 3. Зависимость между средней кривизной оси балок ( $\mu=1,13\%$ ) и моментом  
— — — — — В-1; - - - - - В-2; 1 — опытные; 2 — по СНиП II-21-75; 3 — по АСI; 4 — по СЕВ

визны диаметр рабочей арматуры при низких температурах не оказывал.

В результате расчетов средних кривизн балок на всех этапах загрузки установлено довольно хорошее совпадение расчетных и опытных величин (см. таблицу). При  $M=0,8 M_p$  отклонение составило  $(-6,6) - 11,1\%$ . Исключением была балка D-2 —  $17\%$ .

Балки серий А и С рассчитали по методике американского института бетона (АСИ) и Европейского комитета по бетону (СЕВ). Методика СНиП II-21-75, с учетом влияния температуры на физико-механические свойства бетона и арматуры, позволяет получить более точное значение кривизны (см. рис. 3). Однако для практических расчетов рекомендуется пользоваться более простым способом, приведенным в Руководстве [4]. Для балок, подверженных действию низких температур, полученные величины заметно ниже, чем по СНиП II-21-75. Это объясняется тем, что с понижением температуры значительно увеличивается прочность бетона и в растянутой зоне балок возникают сжимающие усилия, которые Руководством [4] не учитываются. Для повышения точности расчета элементов, находящихся при низких температурах, рекомендуется величину кривизн, определяемую по указанной методике, умножать на поправочный коэффициент:

$$k = 1 - 0,00425 (t_6 - 20). \quad (2)$$

При этом установлено, что при действии момента в диапазоне  $0,8 M_p \leq M \leq M_p$  максимальное отклонение между величинами, полученными по точной и приближенной методике, составляет  $\pm 10\%$ . В некоторых случаях для расчета жесткости сечений с трещинами  $B_T$  требуется простая методика, что достигается умножением расчетной жесткости сечения без трещин  $B_{0,T}$  на понижающие коэффициенты, учитывающие наличие в растянутой зоне трещин.

На основании анализа экспериментальных и расчетных данных для приближенных расчетов можно рекомендовать жесткость сечений с трещинами определять по формулам:

для изгибаемых элементов

$$B_T = (0,2 + 0,11 \mu) B_{0,T}; \quad (3)$$

для внецентренно-сжатых и преднапряженных элементов

$$B_T = B_T (1 + 0,027 \sigma_6), \quad (4)$$

где  $\sigma_6$  — напряжения на уровне рабочей арматуры.

При первом кратковременном охлаждении железобетонных элементов до температуры  $-60$  и  $-120^\circ\text{C}$  их прочность и трещиностойкость увеличиваются, а деформативность уменьшается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. Kanazu, Y. Aoyagi, R. Sato. Deformational Behaviour of Reinforced Concrete Beams with D32 Bars Under Low Temperature, Transactions of Japan Concrete Institute, vol. 2, 1980.
2. Работа изгибаемых элементов при низких температурах/И. Р. Младова, Е. В. Чепига, В. В. Зайпольд и др. — Бетон и железобетон, 1978, № 2.
3. Милованов А. Ф., Самойленко В. Н. Учет воздействия низких температур при расчете железобетонных конструкций. — Бетон и железобетон, 1980, № 4.
4. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). М., Стройиздат, 1978.

## Бетоны

УДК 691.327.666.973.5:539.376

С. В. АЛЕКСАНДРОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф. (НИИСФ)

## Ползучесть и особенности работы автоклавных ячеистых бетонов в условиях Крайнего Севера

Ячеистый бетон обладает наименьшей объемной массой и по теплозащитным свойствам наиболее подходит для наружных ограждающих конструкций, эксплуатируемых в суровых климатических условиях. Однако применение конструкций из автоклавного ячеистого бетона развивается на Севере медленно. Причиной является недостаточное исследование их долговечности. Вероятно, отрицательную роль сыграл и неудачный опыт строительства из неавтоклавного газобетона в условиях Севера.

Для обеспечения долговечности ячеистого бетона в суровых климатических условиях необходимо, чтобы он имел достаточно высокую прочность, обладал высокой трещиностойкостью, стойкостью при периодическом замораживании и оттаивании, коррозионной стойкостью при агрессивных воздействиях токсикологического характера и углекислого газа воздуха (карбонизация). Должны также применяться меры по защите арматуры и закладных деталей от коррозии.

Этим требованиям удовлетворяют автоклавные ячеистые бетоны вида А объемной массой  $600 - 700 \text{ кг/м}^3$ , преимущественно газобетоны на цементном вяжущем и молотом песке; их проектная марка прочности на сжатие для наружных несущих стен и покрытий должна быть не ниже М 50, а для навесных и самонесущих стен — М 35. Проектная марка по морозостойкости назначается, с учетом района строительства, не ниже значений, указанных в табл. II.

Таблица I

Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки по СНиП II-A-6-72	Класс зданий по СНиП II-A-3-62 и СНиП II-A-5-70*	
	II	III
Ниже $-40^\circ\text{C}$ Ниже $-20^\circ\text{C}$ до $-40^\circ\text{C}$	Мрз 55 Мрз 35	Мрз 35 Мрз 25

Жилые и общественные здания из ячеистых бетонов должны проектироваться II и III классов с наружными ограждающими конструкциями II степе-

ни долговечности (срок службы 50 лет). Характеристики бетона следует назначать из условий производства с учетом требуемой степени долговечности ограждающих конструкций, температурно-влажностного режима их эксплуатации, величины и характера нагрузок.

Долговечность наружных ограждений существенно зависит от деструктивных процессов, определяемых характером их напряженного состояния при эксплуатации. Особую опасность в северных районах представляют температурно-усадочные напряжения, которые могут достигать больших значений. Необходимо, чтобы средняя влажность ячеистого бетона к концу осенне-зимнего периода влагонакопления не превышала  $20\%$  по массе, а бетон имел малую усадку, высокую ползучесть и возможно более низкие модуль упругости  $E$ , коэффициенты Пуассона  $\nu$  и линейного расширения  $\alpha$ . Значения последних при положительных температурах не должны превышать указанных в СНиП II-21-75, а у замерзшего бетона (при температуре  $-40^\circ\text{C}$  с влажностью  $15 - 20\%$  по массе) — значений, приведенных в табл. 2.

Напряжения в наружных ограждающих конструкциях возникают не только вследствие неравномерного распределения температуры и влажности, но и при равномерном их изменении в неоднородных ограждениях из материалов с различными физическими свойствами, в односторонне промерзающих однослойных ограждениях, разделяемых на две части границей фронта промерзания с различными  $\alpha$ ,  $\nu$  и  $E$ . Значительные напряжения возникают также при фазовом превращении жидкой влаги, замерзающей в порах бетона.

Проведенные в НИИСФ методом голографической интерферометрии по методике [1] исследования напряженного состояния фрагментов стеновых ограждений из ячеистого бетона при одностороннем многократном замораживании выявили его особенности. Образцы изготовлены из бетона М 35,  $\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$ ; двухслойные образцы имели защитный слой толщиной 2 см из поризованного

Таблица 2

Вид ячеистого бетона	$E-10^{-2}$ , МПа						$\nu$	$\alpha \cdot 10^5$ ( $^\circ\text{C}$ ) $^{-1}$
	М 25	М 35	М 50	М 75	М 100	М 150		
А	21,5	31,5	48	63	94,5	126	0,25	1,6
Б	17,6	25,2	37,8	50,4	75,6	100,8		

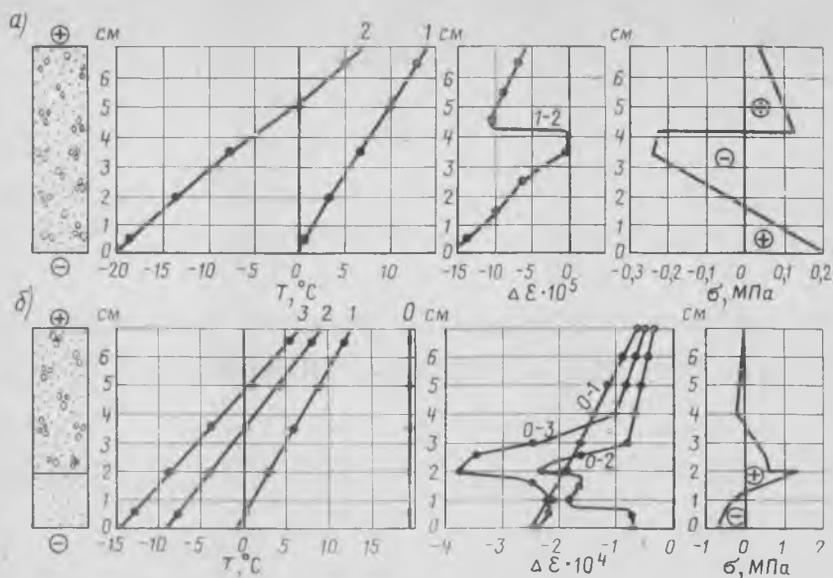


Рис. 1. Распределение температуры  $T$ , свободных деформаций  $\Delta \varepsilon$  и напряжений  $\sigma$  при одностороннем замораживании снизу однослойного газосиликатного (а) и двухслойного газобетонного (б) фрагментов ограждения. Цифры на кривых  $T$  соответствуют состоянию образца с указанным распределением температуры. Двойные  $i-k$  на кривых приращений деформаций  $\Delta \varepsilon_{i-k}$  указывают, что они возникают при переходе из состояния  $i$  в состояние  $k$

цементно-песчаного раствора ( $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$ ). Многократное замораживание однослойных образцов производили в водонасыщенном состоянии. У двухслойных образцов к моменту первого замораживания влажность бетона по массе была равна 23,5%; защитного

слоя — 9,5%, что близко к ее значениям в начале эксплуатации ограждений.

При первом замораживании однослойного образца (рис. 1,а) переход от линейного распределения положительных температур, не вызывающего напряжений, к линейному распределению, но с отрицательными температурами в

части, обращенной к холодному торцу, приводит к резко неравномерному распределению свободных деформаций из-за фазовых превращений влаги на границе фронта промерзания. В результате этого в ограждении возникают значительные нормальные напряжения. Хотя из-за высокой ползучести льда истинные значения напряжений, вызываемых его давлением в порах бетона, будут меньшими, все же они могут приводить к трещинам на холодной поверхности промерзающего ограждения. В аналогичных условиях замораживания в двухслойном образце (рис. 1,б) возникает еще более неравномерное распределение свободных деформаций. В области положительных температур деформации бетона и цементно-песчаного раствора из-за близких значений коэффициентов линейного расширения достаточно согласованы. При дальнейшем промерзании образца возникает резко неравномерное распределение деформаций, особенно в пограничной области. По-видимому, из-за различного содержания льда коэффициенты линейного расширения контактирующих материалов становятся существенно различными. Характер распределения свободных деформаций в промерзшем ограждении таков, что отделочный слой, более жесткий и имеющий меньший коэффициент линейного расширения, на поверхности оказывается сжатым, а в зоне контакта, так же как и примыкающий к нему слой бетона, — растянутым. Это может привести к появлению в них трещин надрыва и последующему отслоению отделки.

Вид эпюры напряжений в однослойном ограждении при одностороннем замораживании (см. рис. 1,а) показывает, что при воздействиях, носящих циклический характер, его наружная холодная зона подвергается периодическому растяжению и прогрессирующей деструкции. Это приводит к накоплению в ней повреждений и снижает модуль упругости. Это подтверждает исследование распределения деформаций по высоте однослойного газобетонного образца, прошедшего 10 циклов замораживания со стороны нижнего торца. На рис. 2,а показаны интерферограмма и построенное по ней распределение деформаций по высоте образца при сжатии в прессе до напряжений 0,1 МПа. Деформация нижней зоны, подвергнутой многократному попеременному замораживанию и оттаиванию, в 2 раза больше деформации верхней зоны, находившейся при положительной температуре. Толщина слоя интенсивной деструкции, в котором снижение модуля упругости существенно, составляет около  $1/3$  высоты образца.

Аналогичные исследования образца высотой 10 см из тяжелого бетона марки М 300 с облицовочным слоем из цементного раствора толщиной 2 см, армированного стекловолокном, при сжатии в прессе до напряжений 0,5 МПа после 30 циклов одностороннего замораживания со стороны отделки выявили существенно неоднородное распределение деформаций в зоне, подвергавшейся многократному замораживанию (рис. 2,б). Деструктивные процессы в контактной зоне развиваются более интенсивно, что приводит к ее разрушению и отслоению отделки.

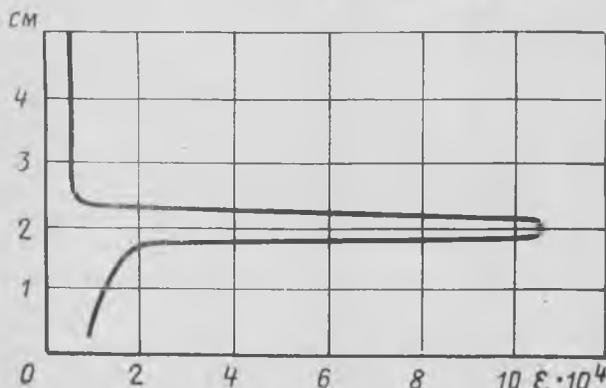
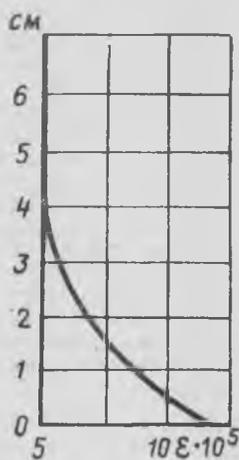


Рис. 2. Интерферограмма и распределение деформаций по высоте сжатых в прессе образцов из ячеистого бетона после 10 циклов одностороннего замораживания снизу (а) и из тяжелого бетона с отделкой после 30 циклов замораживания снизу (б)

При расчете температурно-усадочных напряжений и напряжений от фазовых превращений влаги, оказывающих существенное влияние на долговечность наружных ограждающих конструкций в суровых климатических условиях, необходимо учитывать указанные особенности их работы при низких отрицательных температурах, а также ползучесть бетона. Без этого невозможно их надежные оценки и прогнозирование долговечности ограждений.

Ползучесть ячеистых бетонов хорошо изучена. Установлено, что она зависит от вида и состава, влажности бетона и других факторов, но наибольшее влияние на нее оказывает прочность, которая является определяющей для долговечности ограждающих конструкций.

Ячеистый бетон после автоклавной обработки мало изменяет механические свойства, поэтому можно считать, что его мера ползучести  $C(t, \tau)$  зависит только от длительности нагружения  $\theta = t - \tau$ . Статистическая обработка результатов опытов [2] показала, что (рис. 3)

$$C(\theta) = C(\infty) \times [C_1 (1 - e^{-\gamma_1 \theta}) + C_2 (1 - e^{-\gamma_2 \theta})] \quad (1)$$

и что между предельной мерой ползучести  $C(\infty)$  и нормальной призмной прочностью ячеистого бетона  $R_{пр}^H$  имеется тесная связь:

$$C(\infty) = a + b e^{-\xi R_{пр}^H} \quad (2)$$

с высокими корреляционными отношениями  $\eta$  и ошибками уравнения связи (2)  $m_c$ , равными  $\eta = 0,913$  и  $m_c = 9,1\%$  для ячеистого бетона вида А и  $\eta = 0,762$  и  $m_c = 15\%$  для бетона вида Б. Среднестатистические значения постоянных, входящих в формулы (1) и (2), указаны в табл. 3.

В табл. 4 приведены значения предельной меры ползучести  $C(\infty)$  и коэффициента релаксации  $H^*(\infty)$  автоклавного ячеистого бетона в зависимости от его марки и вида.

Найденные упругим расчетом температурно-усадочные и напряжения от фазовых превращений влаги в ячеистом бетоне должны умножаться на коэффициент релаксации  $H^*(\theta)$ , учитывающий его ползучесть. Формулы для определения текущих значений этого коэффициента для различных случаев изменений полей температуры и влажности приведены в работе [3].

Некоторые данные о соотношении деформаций ползучести замёрзшего и незамерзшего ячеистого бетона позволяют считать их одинаково развивающимися во времени с одной и той же характеристикой ползучести  $\varphi(\infty) = EC(\infty)$ , так как при замораживании модуль упругости возрастает, а предельная мера ползучести снижается, так что их произведение  $\varphi(\infty)$  почти не изменяется. Поэтому у этих бетонов коэффициент  $H^*(\theta)$  практически одинаков. Его предельные значения  $H^*(\infty)$  приведены в табл. 4.

Напряжения, вызываемые свободной деформацией  $\epsilon^0(x)$  (например, температурной), в первоначально однородной, а затем частично промерзшей стеновой панели толщиной  $h$  со свободными тор-

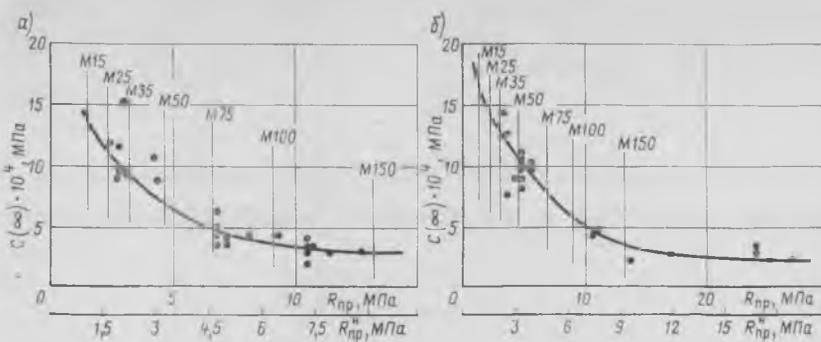


Рис. 3. Результаты статистической обработки опытных данных о предельной мере ползучести  $C(\infty)$  ячеистых бетонов:

а — вида А; б — вида Б

Таблица 3

Вид ячеистого бетона	$C_1$	$C_2$	$\gamma_1 \cdot 10^3$	$\gamma_2 \cdot 10^3$	$a \cdot 10^6$	$b \cdot 10^6$	$\xi$
А	0,227	0,773	10,4	1,51	26,319	190,064	0,486
Б	0,217	0,783	9,75	0,994	16,8	205,135	0,272

Примечание.  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  в (сут) $^{-1}$ ;  $a$ ,  $b$  и  $\xi$  — в (МПа) $^{-1}$ .

Таблица 4

Характеристика бетона	Проектная марка по прочности на сжатие					
	М 25	М 35	М 50	М 75	М 100	М 150
$C(\infty) 10^6$ МПа $^{-1}$	111	88	64	45	35	28
$H^*(\infty)$	0,345	0,312	0,309	0,290	0,277	0,261
	0,325	0,280	0,249	0,242	0,227	0,221

Примечание. Цифры над чертой относятся к бетону вида А; под чертой — к бетону вида Б.

цами, определяются как в двухслойной плите. Слоями с различными физическими свойствами являются внутренний теплый слой 1 толщиной  $\eta = h - \delta$  и наружный замёрзший 2 толщиной, равной глубине промерзания  $\delta$ . Касательные и нормальные напряжения  $\sigma_x$  в ней отсутствуют, а  $\sigma_y = \sigma_z = \sigma$ , причем в указанных слоях (начало координат  $x = 0$  на границе раздела слоев; ось  $ox$  направлена к теплой грани панели):

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1(\theta) &= \frac{E_1 H^*(\theta)}{1 - \nu_1} [A + Bx - \epsilon_1^0(x)]; \\ \sigma_2(\theta) &= \frac{E_2 H^*(\theta)}{1 - \nu_2} [A + Bx - \epsilon_2^0(x)], \end{aligned} \right\} (3)$$

где  $A$  и  $B$  — постоянные, определяемые решением системы уравнений:

$$\begin{aligned} (1 + \xi) A + \frac{1}{2} [\xi (h - \delta) - \delta] B &= \\ &= \frac{\xi F_1}{h - \delta} - \frac{F_2}{\delta}; \\ \frac{1}{2} [\xi (h - \delta) - \delta] A + \\ + \frac{1}{3} [\xi (h - \delta)^2 + \delta^2] B &= \\ &= \frac{\xi S_1}{h - \delta} - \frac{S_2}{\delta}, \end{aligned}$$

в которых

$$F_1 = \int_0^{h-\delta} \epsilon_1^0(x) dx; \quad F_2 = \int_0^{-\delta} \epsilon_2^0(x) dx;$$

$$S_1 = \int_0^{h-\delta} \epsilon_1^0(x) x dx;$$

$$S_2 = \int_0^{-\delta} \epsilon_2^0(x) x dx,$$

$$a \quad \xi = \frac{(1 - \nu_2)(h - \delta) E_1}{(1 - \nu_1) \cdot \delta \cdot E_2}.$$

По формулам (3) при  $H^*(\infty) = 1$ , с учетом данных табл. 2, были рассчитаны упругие напряжения  $\sigma$ , эпюры которых изображены на рис. 1, соответствующие показанным там же графикам вынужденной свободной деформации  $\Delta \epsilon_{1-2}^0(x)$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александровский С. В., Штанько А. Е. Особенности морозного разрушения ячеистого бетона. — Бетон и железобетон, 1980, № 9.
- Александровский С. В. Нормирование ползучести ячеистых бетонов. — В кн.: Индустриальные конструкции из ячеистых бетонов и технология их изготовления. Труды НИИЖБ. М., ЦИНИС, 1979.
- Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций из изменяющей температуры и влажности с учетом ползучести. М., Стройиздат, 1973.

## Улучшение свойств бетона в условиях сухого жаркого климата с помощью пластификаторов

Влияние пластификаторов на свойства бетонов, твердеющих в нормально-влажных условиях, исследовано достаточно подробно. Нами изучалось влияние пластификаторов П-20 и НИЛ-10 на свойства бетона, подвергающегося воздействию агрессивных факторов сухого жаркого климата.

Пластификатор П-20 приготавливается из СДБ путем его очистки от компонентов, замедляющих процессы гидратационного твердения цементов, и представляет собой модифицированный лигносульфонат. Сырье (ССБ или СДБ 10%-ной концентрации) и реагент (портландцемент марки М 400 и выше) в соотношении 1:1 (в пересчете на твердое вещество) перемешиваются 1—2 ч с доведением пульпы до однородного состояния. Затем она сливается в емкость, где происходит ее осветление в течение не менее 12 ч. При этом тяжелые частицы пульпы осаждаются на дно емкости в виде пасты (побочный продукт), которая удаляется в другую емкость. Вторая и третья стадии приготовления пластификатора контролируют по его концентрации и величине сухого остатка. Стоимость 1 т сухого пластификатора П-20, по предварительным данным, составляет 100 р.

При изготовлении исследуемых бетонов (по составу близких гидротехническим, табл. 1) применяли портландцемент марки М 400 Ахангаранского цементного комбината; песок Алмалыкского карьера с  $M_{кр}=2,88$ ; щебень Куйлюкского завода строительных материалов и изделий фракции 5—20 мм с  $M_{кр}=6,92$  и вода с рН=7,3. Добавки вводили в бетонную смесь вместе с водой затворения. Образцы формовали на стандартной виброплощадке. Сразу после изготовления образца в открытых формах выдерживали в естественных условиях сухого жаркого климата (на солнце при температуре 40—45°C и относительной влажности 12—18%) для сравнения с образцами нормального твердения.

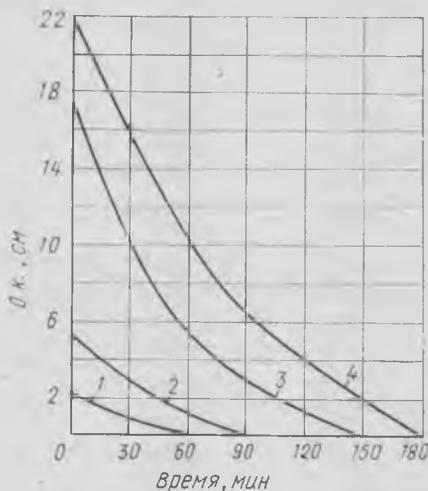


Рис. 1. Кинетика потери подвижности бетонной смеси во времени в условиях сухого жаркого климата ( $V/C=0,5$ ; расход цемента  $370 \text{ кг/м}^3$ )

1 — без добавки; 2 — СДБ — 0,1%; 3 — П-20 — 0,3%; 4 — НИЛ-10 — 0,4%

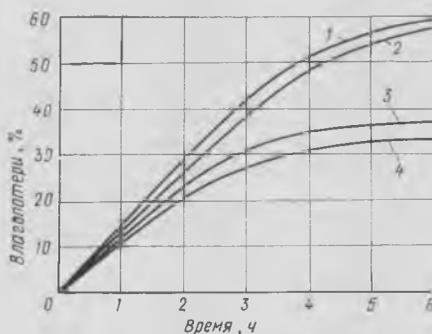


Рис. 2. Кинетика влагопотери бетона в условиях сухого жаркого климата ( $V/C=0,5$ ; расход цемента —  $370 \text{ кг/м}^3$ )

1 — без добавки; 2 — СДБ — 0,1%; 3 — П-20 — 0,3%; 4 — НИЛ-10 — 0,4%

Таблица 1

Составляющие	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг, составов						
	1	2	3	4	5	6	7
Портландцемент	370	370	330	370	310	370	310
Песок	630	630	700	630	730	630	730
Щебень	1200	1200	1215	1200	1230	1200	1230
Вода	185	185	165	185	155	185	155
СДБ, % массы цемента	—	0,1	0,1	—	—	—	—
НИЛ-10, % массы цемента	—	—	—	0,4	0,4	—	—
П-20, % массы цемента	—	—	—	—	—	0,3	0,3
Всего	2385	2386	2411	2389	2428	2396	2434

Результаты (рис. 1—3) свидетельствуют, что введение добавок П-20 и НИЛ-10 в бетонные смеси приводит к существенному улучшению их технологических и физико-механических свойств. Подвижность бетонной смеси (О.К.) увеличилась с 2 до 17—20 см соответственно.

Установлено также (см. рис. 1), что подвижность бетонной смеси сохраняется в течение 1,5—2 ч. Данные рис. 2 свидетельствуют о том, что в начальные сроки твердения испарение воды из бетона с добавлением НИЛ-10 и П-20 значительно замедляется. Так, влагопотери образцов бетона, твердеющих в

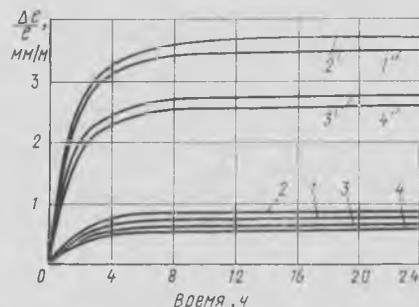


Рис. 3. Начальная пластическая усадка бетона с добавками. Нормальные условия твердения

1 — контрольный без добавки; 2 — СДБ — 0,1%; 3 — П-20 — 0,3%; 4 — НИЛ-10 — 0,4%.  
Условия сухого жаркого климата: 1' — контрольный без добавки; 2' — СДБ — 0,1%; 3' — П-20 — 0,3%; 4' — НИЛ-10 — 0,4%

условиях сухого жаркого климата, с добавкой П-20 составили 37%, с добавкой НИЛ-10 — 34%, а у контрольных без добавки — 50%.

С повышением концентрации СДБ увеличивается подвижность бетонной смеси, однако в количестве более 0,25% она приводит к значительному замедлению процессов гидратации цемента, особенно в ранние сроки твердения. Бетон с 1%-ной добавкой СДБ не твердеет в течение 12—3 сут. Столь существенное замедление процесса твердения, очевидно, связано с тем, что она образует адсорбционные слои на поверхности зерен цемента, препятствуя тем самым развитию процессов гидратации и структурообразования.

С удлинением сроков твердения при повышении концентрации СДБ увеличиваются влагопотери бетона, особенно в условиях сухого жаркого климата. В результате существенно снижается его прочность (на 50% и больше), а также повышается деформативность. Как видно на рис. 3, СДБ на всех стадиях твердения (даже и в малых концентрациях) вызывает повышение пластической усадки на 8—10%, в то время как пластификатор П-20 способствует уменьшению ее на 18—20% по сравнению с контрольными образцами, что весьма существенно в условиях сухого жаркого климата.

В производственных условиях на высоконапорном (4—5 атм) дюкере Юзрук-Сай по трассе Паркентского канала пропускной способностью  $Q=56 \text{ м}^3/\text{с}$  в Ташкентской области было произведено опытно-производственное внедрение гидротехнического бетона с добавкой пластификатора П-20. Выявилось, что добавка оказывает комплексное положительное воздействие на бетонные смеси с одновременным эффектом пласти-

фикации и ускорением процессов гидратации цемента. С введением этой добавки наблюдается резкое увеличение подвижности бетонной смеси (О.К. с 2—3 см увеличилась до 17—18 см). Это позволило уменьшить расход воды на 19%, количество цемента на 18% и увеличить прочность бетона на 25% по сравнению с бетоном без добавки. Относительные данные по прочности при сжатии пластифицированных бетонов представлены в табл. 2. Из нее видно, что бетоны с пластификаторами НИЛ-10 и П-20, твердеющие в условиях сухого жаркого климата, в начальные сроки твердения обладают более высокой прочностью по сравнению с бетоном без добавок, твердеющими в нормальных условиях.

Сравнительный анализ свойств исследованных пластификаторов показывает, что при введении СДБ возможно лишь незначительное увеличение подвижности (от 2 до 4—5 см) без ухудшения прочностных характеристик бетона. Введение пластификаторов НИЛ-10 и П-20 (табл. 1) позволяет, при сохранении исходной подвижности, получить экономию цемента на 15—20% при пропорциональном уменьшении расхода воды, что способствует увеличению прочности бетона. Пластификаторы П-20 и НИЛ-10 значительно увеличивают прочность (в 28-суточном возрасте на 20—25% в нормальных условиях твердения и на 25—35% в условиях сухого жаркого климата) по сравнению с бетоном

Т а б л и ц а 2

№ составов бетона по табл. 1	Подвижность (осадка конуса), см	Относительная прочность бетонов, % в возрасте, сут		
		3	7	28
<i>Нормальные условия твердения (t=20°±2°С; φ=70—95%)</i>				
1	2	100	100	100
2	5	95	99	111
3	2	113	102	104
4	20	111	122	130
5	6	137	127	125
6	17	104	112	124
7	4	129	113	118
<i>Условия сухого жаркого климата (t=40°±2°С; φ=12—18%)</i>				
1	2	100	100	100
2	5	96	101	100
3	2	114	119	119
4	20	113	121	126
5	6	140	144	152
6	17	106	112	114
7	4	137	133	140

без добавки. Эти данные показывают, что указанные добавки существенно превосходят СДБ, которая, согласно нормативным документам, позволяет уменьшить расход цемента не более чем на 6%.

Наряду с прочностными характеристиками исследовались водонепроницаемость и морозостойкость бетонов с этими добавками. Так, введение в бе-

тонные смеси добавок П-20 и НИЛ-10 повышает плотность бетона благодаря формированию тонкопористой структуры цементного камня, что увеличивает водонепроницаемость с 0,2 до 0,6—0,8 МПа, а морозостойкость — в 1,5—2 раза.

Таким образом, экспериментальные и производственные данные показали, что в условиях сухого жаркого климата целесообразно применять в бетонах пластификатор П-20. Эта добавка, обладая высокой стойкостью к агрессивным факторам сухого жаркого климата, значительно ускоряет гидратацию цемента в начальные сроки твердения. Кроме того, способ приготовления пластификатора прост, сырье недефицитно, производство может быть организовано на любых заводах ЖБИ. Пластификатор П-20, в отличие от СДБ, характеризуется высокой однородностью. Пластифицированные бетонные смеси обладают хорошей удобоукладываемостью, не расслаиваются при погрузках и выгрузках, во время перевозки в автосамосвалах, а также при укладке в конструкции, имеют хорошую связность.

Применение пластификатора П-20 позволяет примерно вдвое сократить длительность виброуправления, а также снизить расход цемента на 15—20%. Введение в бетонные смеси пластификатора П-20 дает возможность получить экономический эффект не менее 1 р. на 1 м<sup>3</sup> бетона.

УДК 691.327:666.973.5

А. Н. ЧЕРНОВ, канд. техн. наук (Уралнистромпроект)

## Вариатропный ячеистый бетон переменной плотности

Вариатропное тело характеризуется такой формой направленной неоднородности, при которой свойства материала, составляющего данное тело, зависят не только от направления (как у анизотропного или ортотропного тел), но и от расстояния, являясь закономерной, главным образом непрерывной функцией координат.

Среди используемых в настоящее время строительных элементов некоторые имеют многослойные конструкции (главным образом, двух- и трехслойные стеновые панели). Однако резкая граница между разнородными слоями является их уязвимым местом. Известны также ячеистобетонные изделия переменной плотности, получаемые путем прокатки поверхностного слоя неотвердевшего ячеистого бетона. Такая технология используется почти на 20 заводах страны, позволяет исключить трудоемкие процессы срезки и удаления горбушки с газобетонных изделий, снизить трудоемкость их изготовления.

Прокатывающий вал в каждый момент процесса уплотнения горбушки давит лишь на узкую полосу изделия

и создает в нем затухающее по глубине поле сжимающих напряжений, обеспечивая уменьшающуюся по толщине изделия степень уплотнения материала. Таким образом, прокатанный ячеистобетонный элемент является полноправным вариатропным телом.

Меняя режимы прокатки, можно получить плотность материала от 11 до 1,4 т/м<sup>3</sup> с плавным уменьшением ее до 0,4—0,7 т/м<sup>3</sup> на расстоянии от 5 до 70 мм от прокатанной поверхности. При этом полностью исключается резкая граница между слоями разной плотности, которая могла бы служить зоной концентрации напряжений, скопления конденсата и т. п.

Рассмотрим ячеистобетонный элемент (блок), имеющий на двух противоположных боковых гранях уплотненные слои толщиной  $x_1$  и  $x_2$ . Полагаем, что в уплотненных слоях плотность материала изменяется по линейному закону — от  $\gamma_{\max}$  на поверхности до  $\gamma_{\min}$  в зоне контакта слоя с центральной неуплотненной (однородной) частью сечения. Загрузим такой элемент сжимающей нагрузкой, параллельной уплотненным поверхностям,

Если исходить из классических предположений, что несущая способность элемента равна сумме несущих способностей отдельных частей поперечного сечения, то несущая способность вариатропного элемента будет описываться выражением:

$$N = \int_F R(x, y) dF, \quad (1)$$

где  $R(x, y)$  — прочность материала, как функция координат поперечного сечения элемента.

Если принять, что прочность ячеистого бетона есть степенная функция плотности:

$$R = K \gamma^n, \quad (2)$$

с постоянными параметрами  $K, n$ , то для вариатропного ячеистобетонного элемента с двумя уплотненными слоями выражение (1) получит вид:

$$N = \gamma_{\min}^n K b \times \left( \frac{x_1 + x_2}{n+1} \frac{c_1^n - 1}{c_1 - 1} + h - x_1 - x_2 \right), \quad (3)$$

где  $b$  — длина;  $h$  — ширина поперечного сечения;  $c_1 = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\min}}$ .

Коэффициент теплопроводности ячеистого бетона  $\lambda$  также является функцией его плотности:

$$\lambda = a + c \gamma^2. \quad (4)$$

Для сухого ячеистого бетона  $a=0,065$ ;  $c=0,161$ , тогда сопротивление теплопередачи вариатропного элемента будет:

$$R_T = R_B + R_H + \int_0^h \frac{dx}{\lambda_T}. \quad (5)$$

где  $R_{\tau}$  — сопротивление теплопередаче;  $R_{\nu}$  — сопротивление тепловосприятию;  $R_{\mu}$  — сопротивление теплоотдаче;  $\lambda_x$  — коэффициент теплопроводности.

Используя выражения (3) и (5), рассчитаем вариатропный элемент. Примем, что плотность материала в однородном элементе равна  $\gamma_0 = 0,7 \text{ т/м}^3$ , а в вариатропном она меняется либо от 1,2 до 0,48  $\text{т/м}^3$  ( $c_1 = 2,5$ ), либо от 1,4 до 0,4  $\text{т/м}^3$  ( $c_1 = 3,5$ ). Переход от однородного строения к вариатропному при одинаковой несущей способности элементов и выбранных значениях  $c_1$ , позволяет снизить их массу с 0,168 до 0,149 и 0,133  $\text{т/м}^2$  и одновременно повысить сопротивление теплопередаче от 1,87 до 2,15 и 2,4  $\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C/ккал}$ . Возможно также уменьшение толщины элемента от 0,24 до 0,2 м и массы до 0,12  $\text{т/м}^2$  при сохранении теплозащиты на уровне исходного однородного элемента.

Оставляя в качестве эталона описанный выше элемент ( $\gamma_0 = 0,7 \text{ т/м}^3$ ;  $h_0 = 0,24 \text{ м}$ ), запроектируем вариатропный, имеющий одиночное армирование и уплотненный слой в сжатой зоне сечения. Если минимальная плотность ячеистого бетона под уплотненным слоем  $\gamma_{\text{мин}}$ , то выражение для необходимой толщины уплотненного слоя  $\alpha$  (в случае линейного изменения плотности в слое) будет иметь вид

$$\alpha = h_0 \left( \frac{\gamma_0}{\gamma_{\text{мин}}} \right)^n \frac{1}{c_1^n + 1} \quad (6)$$

где  $h_0$  — рабочая высота сечения.

Соотношение плеча внутренних сил в вариатропном и однородном элементах, так называемый коэффициент резерва, можно вычислить из (6), если условно принять, что нейтральная ось в однородном элементе проходит посередине высоты рабочего сечения ( $x_0 = 0,5 h_0$ ) и, следовательно, плечо внутренней пары сил составляет  $0,75 h_0$ . Тогда выражение для коэффициента резерва  $V_p$  получит вид:

$$V_p = \frac{4}{3} \left( 1 - \frac{\gamma_0^n}{(2c_1^n + 2)\gamma_{\text{мин}}^n} \right) \quad (7)$$

При  $c_1 = 3-3,5$   $V_p = 1,2-1,25$ . Это позволяет в 1,2 раза уменьшить толщину элемента или расход растянутой рабочей арматуры. Поскольку уплотненный слой полностью воспринимает сжимающие напряжения, можно существенно снизить плотность материала в остальной части сечения. Расчеты показывают, что масса 1  $\text{м}^2$  изгибаемого элемента может быть снижена на 30—40%, а сопротивление теплопередаче повышено на такую же величину.

Результаты сопоставления экономической эффективности однородных и вариатропных элементов показали, что учет фактически имеющегося на отдельных заводах вариатропного строения ячеистобетонных элементов позволяет получать эффект до 5  $\text{р/м}^3$ .

Экспериментальная проверка проводилась на калининском комбинате строительных материалов № 2 при изготовлении газобетонных плит перекрытий. Установлено, что в результате перехода от однородного строения плит к вариатропному можно снизить их массу на 20%.

## Заводское производство

УДК 691.54(—197)

В. В. БУБЕЛО, канд. техн. наук; Н. В. ПАРШЕНЦЕВ, И. В. НИКУЛИН, инженеры (Целиноградский инженерно-строительный ин-т)

### Уровнемер для емкостей длительного хранения цемента

Для оперативного управления процессами наполнения и расхода цемента и заполнителей в производстве бетонных и железобетонных изделий необходимы простые и надежные приборы по определению уровня материалов. Ниже описаны конструкция и принцип действия поплавкового уровнемера, смонтированного на складе цемента целиноградского комбината железобетонных изделий и конструкций, для получения информации о количестве материала в емкостях длительного хранения.

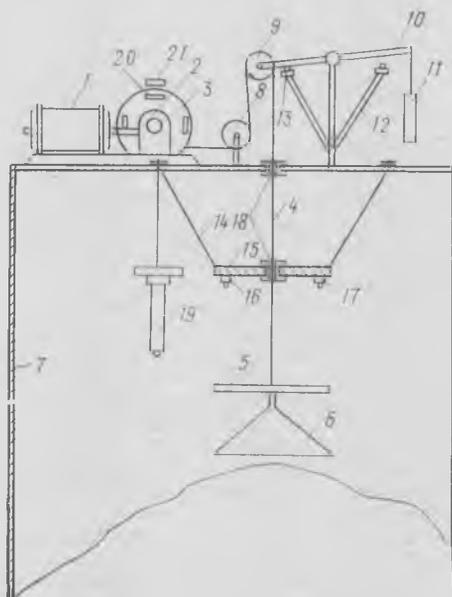
Известны приборы контроля уровня сыпучих сред, в которых поплавки постоянно находятся на поверхности материала. При понижении уровня из-за изменения конфигурации поплавка или положения расположенных в нем датчиков подается команда на опускание поплавковой системы до нового касания ее с поверхностью материала. При наполнении емкостей в указанных устройствах поплавки засыпается материалом и при изменении давления поднимается с последующим опусканием его на поверхность.

Подобные уровнемеры практически невозможно использовать для контроля

уровня цемента в емкостях длительного хранения, поскольку данный материал подвержен гидратации, слеживаемости и сводообразованию.

В емкостях, где уровень меняется относительно медленно (силосы для хранения цемента), нет необходимости в постоянном его контроле, поэтому достаточно проводить измерения по мере необходимости получения информации о количестве материала в емкости. Как показал опыт эксплуатации описываемого уровнемера, такие измерения производят не более трех раз в смену. Исходным положением поплавка принят верхний предельный для материала уровень. По команде оператора поплавки опускают до касания с поверхностью материала, после чего автоматически возвращают в исходное положение.

Конструкция уровнемера, работающего по указанному принципу, показана на рисунке. С помощью асинхронного двигателя, редуктора, барабана и троса поплавковая система, состоящая из верхней и нижней платформ, может перемещаться вдоль геометрической оси емкости. Трос подается в емкость через неподвижный и подвижный блоки. Последний укреплен на левом плече коромысла, на правом его плече находится противовес. До касания с поверхностью материала коромысло опирается на левый упор с конечным двухпозиционным выключателем. В момент касания поплавка поверхности материала, вследствие ослабления натяжения троса, коромысло поворачивается по часовой стрелке. В результате положение выключателя изменяется. При этом формируется команда на подъем поплавковой системы. Для облегчения переходных процессов в приводе исполнение этой команды осуществляют с задержкой 5 с. Вверху емкости на тросах подвешена площадка с укрепленными на ней концевыми выключателями. Масса площадки подобрана так, чтобы при касании ее с верхней платформой поднимающегося поплавка надежно срабатывали выключатели 16, подающие команду на прекращение перемещения троса. Для повышения надежности и обеспечения центрирования поплавка при его контакте с площадкой на ней закреплены три концевых выключателя. Достигнув верхнего положения, поплавковая система находится здесь до следующего измерения. Для уменьшения трения при движении троса в верхней крышке емкости и в площадке находятся центрирующие латунные втулки.



Конструкция уровнемера

1 — двигатель асинхронный; 2 — редуктор; 3 — барабан; 4 — трос; 5, 6 — платформы верхняя и нижняя; 7 — емкость; 8, 9 — блоки неподвижный и подвижный; 10 — коромысло; 11 — противовес; 12 — упор; 13 — выключатель; 14 — трос емкости; 15 — площадка; 16 — выключатель; 17 — концевой выключатель; 18 — латунные втулки; 19 — датчик; 20 — постоянные магниты; 21 — геркон

При включении системы подачи цемента в емкость одновременно включается радиоизотопный уровнемер СУРМ-2П, датчик которого крепится на тросе, сверху емкости. При достижении материалом уровня, на котором установлен датчик, система подачи материала отключается. При вращении барабана, с которого сматывается трос, вращаются постоянные магниты, вызывающие замыкание контактов геркона, находящегося во входной цепи счетного устройства. Точность измерения уровня предлагаемым устройством определяется длиной троса, смотанного с барабана между двумя последовательными импульсами, поступающими с геркона.

Из-за слеживаемости цемента и его последующего обрушивания в емкостях длительного хранения не требуется большая точность измерения. В установленном уровнемере при опускании троса на всю глубину емкости формируется 40 импульсов, т. е. «цена деления» устройства 2,5% всего количества цемента в емкости.

В момент касания поплавком поверхности материала одновременно с формированием команды на подъем по-

плавковой системы исходное положение геркон отключается от счетного устройства и информация о количестве материала хранится до нового измерения.

Масса поплавок в описанном уровнемере зависит от гибкости троса и его массы: это определяет чувствительность системы, реагирующей на натяжение троса. При использовании троса диаметром 3 мм и глубине емкости 30 м для надежного срабатывания системы при касании поплавком поверхности цемента достаточен поплавок массой 3 кг. Трос наматывается в несколько рядов, поэтому для устранения хаотической намотки троса и заклинивания троса при сматывании необходимо вводить устройство рядовой укладки. При намотке троса на барабане в несколько рядов и при его значительной толщине из-за изменения фактического диаметра барабана несколько изменяется и точность измерения. Использование тонких прочных нитей позволяет устранить этот недостаток даже при больших диапазонах измерения уровня.

В настоящее время эти уровнемеры изготовлены в нескольких экземплярах,

установлены на Целиноградском комбинате железобетонных изделий и конструкций и на Атбасарском заводе ЖБК (Целиноградская обл.), и эксплуатируются длительное время (от 3 мес до 1 года). Применяемые датчики уровня СУРМ-2П показали высокую эксплуатационную надежность и безопасность, успешно работают в схемах управления 2,5 года. Стоимость одного такого прибора составляет 450 р.

#### Выводы

Предлагаемый принцип работы устройства для измерения уровня материала в емкостях длительного хранения, в котором поплавок в исходном положении находится сверху емкости и опускается на поверхность материала только в момент окончания замера, значительно упрощает конструкцию устройства, повышает его надежность, позволяет использовать предлагаемый метод для измерений в разных по гранулометрическому составу и свойствам зернистых средах.

Простота конструкции и электрической схемы управления предлагаемого уровнемера позволяет изготовить его на любом заводе ЖБИ.

УДК 69.057.3

Э. Г. РАТЦ, канд. техн. наук (НИЛ ФХММ и ТП);  
Г. Б. ГОЛЬДИНБЕРГ, инж. (завод ЖБИ № 13, Москва);  
М. Б. КАПЛАН, Е. М. РАБИНОВИЧ, инженеры  
(СКТБ Главмоспромстройматериалов)

## Опыт применения замкнутых строповочных петель

Замкнутые строповочные петли представляют собой согнутый и сваренный стержень, образующий непрерывный элемент (рис. 1). По сравнению с обычными петлями (см. рис. 1) применение замкнутых строповочных петель позволяет уменьшить глубину их заделки в бетоне примерно вдвое, а следовательно, сократить длину заготовки, благодаря чему достигается экономия 30—40% металла. Возможность уменьшения глубины заделки петли обусловлена тем, что, в отличие от обычной, замкнутая петля не может вытягиваться из бето-

на. Предельное состояние при этом проявляется только в выкалывании бетона с петель или в разрыве петли. Другим преимуществом замкнутых петель является малое число типов, что является предпосылкой для механизации производства.

Замкнутые строповочные петли в форме треугольника с закругленными углами и со сваркой посередине нижней стороны (ветви) (см. рис. 1) разработаны ПИ-1\*. Позднее КТБ стройиндустрия предложило выполнять сварку в углу, в точке пересечения двух ветвей

петли\*\* (см. рис. 1). В настоящее время ПИ-1 совместно с НИИЖБ разработаны рабочие чертежи замкнутых строповочных петель и указания по их применению (серия 3.400-7) [1].

Петли со сваркой в углу (см. рис. 1) образуются двумя перегибами вместо трех, кроме того, точечная сварка расположена более технологично в месте пересечения стержней. Недостаток таких петель в необходимости строгого контроля качества сварки. Испытаниями, проведенными НИЛ ФХММ и ТП [2], установлено, что сварная точка в петлях подвергается большим усилиям, чем при сварке посередине нижней ветви, поскольку сцепление металла с бетоном нарушается уже при небольших усилиях, после чего все усилие передается на сварную точку. При качественной сварке расположение точки сварки не имеет значения и оба варианта одинаково прочны. В случае некачественной сварки петля со сваркой в углу становится ненадежной, поэтому следует отдавать предпочтение замкнутым строповочным петлям со сваркой посередине нижней ветви.

При освоении замкнутых петель со сваркой посередине нижней ветви конструкция петли изменена, так как при соединении ветвей внахлестку затруднена точечная сварка. Угол загиба нижних ветвей увеличен так, что две полуветви пересекаются под углом не менее 30° (см. рис. 1).

В процессе технологических испытаний определялась возможность использования замкнутых петель в технологическом процессе (распалубка, погрузка и

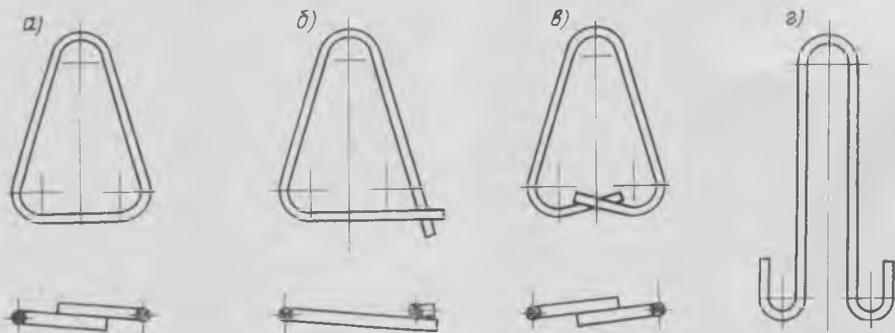


Рис. 1. Стropовочные петли

а — традиционного очертания; б — замкнутая со сваркой посередине нижней ветви (ПИ-1); в — со сваркой в углу (КТБ стройиндустрия); г — со сваркой посередине нижней ветви при пересечении полуветвей под углом не менее 30°

\* А. с. № 49770. Железобетонная панель. Р. А. Гершанок, Э. Б. Каган, В. С. Морозов. — Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1975, № 42.

\*\* А. с. № 629300. Железобетонная панель. А. В. Андрейченко, В. Б. Акимов, Б. Р. Минкин. — Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1978, № 39.

выгрузка, монтаж на стройплощадке). Их проводили для выявления влияния зажатия изделия в форме, сцепления с формой и прочих воздействий, которые невозможно установить расчетом.

Силовые испытания заключались в поднятии за новые петли изделия с прикрепленными еще двумя на высоту 500 мм пятикратно с опусканием до полного ослабления стропил. Трехкратную нагрузку создавали непосредственным нагружением или при помощи рамок. Во всех случаях ее прикладывали на определенном расстоянии от испытываемых петель, чтобы не препятствовать выкалыванию бетона. При тройной нагрузке ни в одном случае не было отмечено разрушения.

Замкнутые строповочные петли применены на заводе ЖБИ № 13 для производства забивных свай, колонн, плит ленточных фундаментов и других железобетонных изделий. При этом экономия металла составила 1,2—1,5 кг/м<sup>3</sup>. Опыты с доведением петель до разрушения показали, что петли, изготовленные по серии 3.400-7, не являются равнопрочными по металлу и бетону. Как правило, предельное состояние достигалось в результате разрушения бетона. Металл выступающей части петели имел большую несущую способность, которая недоиспользовалась.

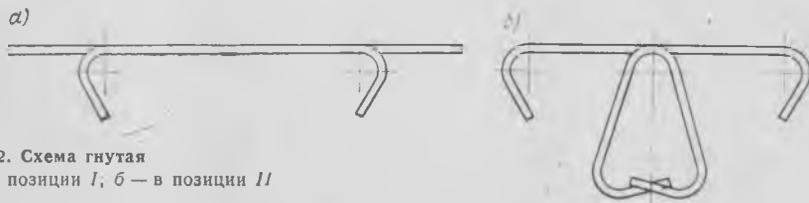


Рис. 2. Схема гнутая  
а — в позиции I, б — в позиции II

Условия для широкого внедрения таких петель возникли после создания СКТБ Главмоспромстройматериалами при участии НИЛ ФХММ и ТП и завода ЖБИ № 13 автоматического станка (габариты 1324×141×1100 мм, масса 450 кг, цикл работы 3 с). Он предназначен для изготовления петель наиболее распространенного размера из стали диаметром 10, 12 и 14 мм при длине заготовки 750 мм [3].

Петли производят на двух одновременно работающих позициях станка: двумя гибочными рычагами в первой загибаются концы прутка, а во второй также двумя гибочными рычагами осуществляется центральный перегиб (рис. 2), при котором предварительно загнутые концы заготовки перекрещиваются, а место их пересечения оказывается между электродами точечной электросварочной машины, которая сваривает концы петели. Изгиб производится с помощью роликов рычагов вокруг неподвижных оправок, закрепленных консольно для выпадания согнутого прутка вниз.

В конструктивную схему станка\* заложены следующие принципы: позиция II располагается под позицией I; привод гибочных рычагов осуществляется пнев-

моцилиндрами, всегда совершающими полный ход; каждый пневмоцилиндр приводит в движение одновременно два гибочных рычага — один на позиции I и другой на позиции II; пневмоцилиндры включаются одновременно; при сварке заготовка фиксируется в роликах гибочных рычагов. В случае некачественной сварки концы заготовки расходятся, что позволяет легко отбраковать петлю.

В щель станины опускается заготовка, которая ложится на выступы гибочных рычагов механизма загибания концов. При этом на направляющих позициях II находится заготовка с загнутыми концами, изготовленная в позиции I при предыдущем ходе станка. При включении пневмоцилиндров рычаги центрального перегиба изгибают заготовку посередине. Одновременно через тяги производится поворот гибочных рычагов позиции I, которые загибают концы следующей заготовки. Перекрещивание концов заготовки обеспечивается благодаря смещению роликов гибочных рычагов позиции II по высоте, а также соответствующей формой концов направляющей. При возвращении пневмоцилиндров в исходное положение готовая петля выдает в бункер, а заготовка из позиции I падает на направляющие позиции II. Управление станком с момен-

та подачи в него очередной заготовки автоматизировано. В станке предусмотрена регулировка угла загиба, выполняемого каждым рычагом, а также давления воздуха, поступающего в цилиндры. Кроме того, установлен досылатель, обеспечивающий прижим заготовки к упору, установленному на позиции I.

Станок изготовлен механическим заводом № 2 Главмоспромстройматериалов и смонтирован совместно с точечной электросварочной машиной МТ-2510 на заводе ЖБИ № 13.

При производительности станка около 1000 петель в час экономический эффект от применения одного станка составит 21 тыс. р. по сравнению с изготовлением петель на станке С-146 с последующей сваркой пересечения. Учитывая, что наличие станка делает реальным переход на замкнутые петели, фактическая эффективность значительно выше. Подача заготовок в станок может производиться вручную, из специального питателя или от правильно-отрезного автомата. Высокая производительность станка создает предпосылки для централизованного производства унифицированных замкнутых строповочных петель.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гершанок Р. А., Судаков Г. Н., Старцев В. И. Замкнутые монтажные петели для строповки сборных бетонных и железобетонных изделий. — Промышленное строительство, 1980, № 11.

2. Ратц Э. Г., Гольдинберг Г. Б., Михайлов В. Д., Аракчеева Л. Я. Замкнутые петели для строповки бетонных и железобетонных изделий. — Промышленность строительных материалов Москвы, 1979, № 2.
3. Каплан М. Б., Михайлов В. Д., Рабинович Х. М. Станок для изготовления замкнутых строповочных петель. — Промышленность строительных материалов Москвы, 1981, № 6.

Г. М. КОРНЮШИН, инж.  
(КБ по железобетону)

## Универсальная конвейерная линия для производства несущих панелей перекрытий

Универсальная конвейерная линия серии 2280/4 предназначена для изготовления несущих многопустотных и сплошных панелей, в том числе напряженных, для акустически однородных перекрытий.

Максимальные размеры формируемых изделий 7200×3100×500 мм. Установленное на конвейерной линии отделочное оборудование позволяет изготавливать сплошные или пустотные панели с диаметром пустот 127 мм готовыми для укладки слоя упруго-мягкого материала (например, типа звукоизолирующего теплого линолеума).

Технологическая линия размещена в 18-метровом пролете и представляет собой вертикально-горизонтально-замкнутый конвейер с тремя щелевыми камерами непрерывного действия, расположенными ниже уровня пола. Щелевая камера имеет ширину в свету 4100 мм, высоту от головки рельса 1100 мм. Конвейер имеет жесткую связь между постами и работает с полусвободным ритмом в полуавтоматическом режиме. Особенностью конвейера является то, что формовочная машина расположена ниже уровня пола цеха в специальном приямке, что позволяет изготавливать любую плоскую плиту.

В состав линии входит следующее оборудование: подъемники-снижатели, передаточные тележки, устройство для открывания и закрывания бортов, кантователь, виброплощадка, формовочная машина, подъемные рельсы, отделочная машина, грузоведущий конвейер, доталкатель, насосные установки и установка для заделки торцов.

Производительность конвейерной линии составляет 46—54 формовки в сутки, общая установленная мощность — 258,9/272,9 кВт/кВ·А. Максимальная масса формы-вагонетки с изделием — 18 000 кгс. На верхнем ярусе установлено 9(11) форм-вагонеток, в одной камере — 11(13). Масса конвейера 150 000 кгс. Длина линии составляет 108 080, ширина — 17 050 мм, высота над уровнем головки рельса верхнего яруса — 3170 мм.

Конвейерную линию рекомендуется использовать при строительстве новых, реконструкции и модернизации действующих предприятий крупнопанельного домостроения различной мощности.

## Цветной гранулированный материал для отделки стеновых панелей из ячеистого бетона

В настоящее время к наиболее перспективным стеновым материалам относятся ячеистый бетон. Повысить заводскую готовность ячеистобетонных стеновых панелей можно только при выполнении защитно-декоративных покрытий в процессе формования. Отделка стеновых панелей должна быть достаточно воздухо- и паропроницаемой, а также обладать эластичностью, необходимой для компенсации напряжений, возникающих при усадочных и других деформациях ячеистого бетона. Эти требования обеспечивают офактуривание панелей каменной крошкой, присыпаемой на дно формы по слою песка. Наличие промежутков между зернами крошки обуславливает достаточную деформативность такой фактуры, а также отсутствие препятствия для движения паровоздушного потока.

В ЛенЗНИИЭП разработан камневидный отделочный материал для изделий из ячеистого бетона, получаемый грануляцией цементно-песчаной смеси. Технология изготовления гранул позволяет применять цветные цементы без ограничения срока хранения переводом в инертное состояние. При использовании гранул на основе белого или цветных цементов отделяемая поверхность кроме окраски приобретает интересные пластические качества.

По физико-механическим показателям гранул оптимальным является состав 1:2 (цемент:молотый песок), обеспечивающий их соответствие основным требованиям для материалов наружных покрытий стеновых панелей из ячеистого бетона  $\gamma_{уд} = 2160 \text{ кг/м}^3$ ;  $\gamma_{нас} = 1040 \text{ кг/м}^3$ ;  $R_{сж} = 8,1 \text{ МПа}$ ;  $W = 10\%$ ,  $K_{разм} = 0,92$ ;  $M_{рз} > 50$  циклов. Прочность гранул, определенная по ГОСТ 9758—68, соответствует  $R_k = 52 \text{ МПа}$ .

Гранулы на основе белого цемента обладают показателем белизны,  $\rho = 62\%$ , превышающим аналогичное значение для белого мрамора Коелгинского месторождения. Цветные же гранулы, изготовленные из белого цемента, подкрашенного щелоче- и атмосферостойкими пигментами (железоокисными красным или желтым и голубым фталоцианиновым), наряду с высокими физико-механическими свойствами обладают насыщенностью, чистой по тону окраской. Так, красный гранулированный материал при  $R_{сж} = 8,3 \text{ МПа}$  характеризуется насыщенностью цвета  $P = 23\%$ , голубой — при  $R_{сж} = 7,9 \text{ МПа}$  —  $P = 16\%$ .

В процессе экспериментальных исследований отработаны оптимальные технологические параметры изготовления гранул размером 25—40 мм. Установлено, что такие частицы можно получать на

грануляторе с тарелкой диаметром 2,5 м при скорости ее вращения 10—12 об/мин и угле наклона  $43^\circ$ .

Двухслойные образцы выдержали 35 циклов стандартных испытаний на морозостойкость при температуре  $-20^\circ\text{C}$  и 25 циклов — при  $-60^\circ\text{C}$ , 50 циклов попеременного увлажнения и высушивания, а также 75 циклов комплексных испытаний в климатической камере НИПИИс-ликатобетона. На основании этих данных институт гарантирует сохранность покрытия в течение 25 лет эксплуатации.

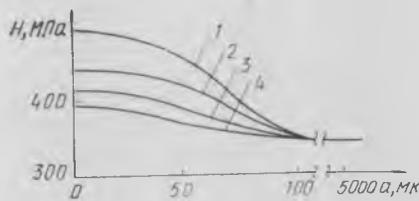


Рис. 1. Микротвердость контактной зоны на границе «цементный камень — гранула»

1 — образцы со свежизготовленными гранулами; 2 — с гранулами, твердевшими в естественно-воздушных условиях в течение 1 мес; 3 — с пропаренными гранулами; 4 — с подвергнутыми автоклавной обработке гранулами

Одно из важнейших условий, определяющих долговечность защитно-декоративных покрытий, — хорошее сцепление с ячеистым бетоном. Для установления этой зависимости исследовали влияние на  $\sigma_{сд}$  объемной массы ячеистого бетона, физико-механических свойств гранул, обусловленных условиями их твердения до использования в отделочном покрытии и способа формирования.

Испытаниями, проведенными методом отрыва единичной гранулы, установлено, что между прочностными характеристиками ячеистого бетона и сцеплением с гранулами существует прямо пропорциональная зависимость при  $\gamma_0 = 500 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$ , при этом  $\sigma_{сд} \approx R_p$ . Дальнейшее повышение  $\gamma_0$  вызывает заметное снижение  $\sigma_{сд}$ .

Условия твердения гранул (естественно-воздушные, пропаривание, автоклавная обработка) перед использованием в отделочном покрытии закономерно влияют на их физико-механические свойства. Определяющим для условий совместной работы гранул с ячеистым бетоном является водопоглощение. Наиболее высокое сцепление с ячеистым бетоном ( $0,83 \text{ МПа}$ ) отмечается у гра-

нул с наибольшим  $W = 11,3\%$ , твердевших в естественно-воздушных условиях.

Для более детального изучения характера взаимодействия гранулированного материала с ячеистым бетоном исследовали контактную зону под микроскопом. Представленные на рис. 1 кривые распределения микротвердости цементного камня на границе с гранулами, твердевшими в различных условиях, свидетельствуют о наличии вокруг гранул зоны повышенной твердости, распространяющейся на 100 мк. Максимальные значения микротвердости контактной зоны отмечаются, как и следовало ожидать, в образцах со свежизготовленными гранулами.

К технологическим факторам, влияющим на сцепление гранул с ячеистым бетоном, относятся крупность, глубина заделки, определяющая площадь контактирующих поверхностей и плотность укладки в отделочном покрытии.

В результате статистической обработки опытных данных установлено, что зависимость сцепления от крупности гранул диаметром 5—40 мм выражается эмпирической формулой:  $\sigma_{сд} = 0,163 d^{1,33}$  ( $d$  — диаметр гранулы, мм).

Оптимальную глубину заделки гранул, определяющую необходимую долговечность и пластические свойства отделочного покрытия, для гранул с  $d = 25 \text{ мм}$  можно подсчитать по формуле:  $\sigma_{сд} = 0,07 h^{1,04}$  ( $h$  — глубина заделки гранул:  $h = 3 \dots 15 \text{ мм}$ ).

Важнейшим фактором, влияющим на величину сцепления отделочного покрытия с ячеистым бетоном, является расстояние между частицами, формирующими это покрытие. Для гранул диаметром 5—40 мм при расстоянии между ними 0—5 мм формула примет вид:  $\sigma_{сд} = 0,08 a^{1,41} + 0,28$  ( $a$  — зазор между гранулами, мм).

Применение цветных гранул открывает широкие возможности расширения цветовой гаммы защитно-декоративных покрытий в результате одновременного использования в них определенного числа частиц различных тонов.

Преимущество гранул, т. е. частиц относительно правильной сферической формы с известными цветовыми характеристиками, заключается в стабильности суммарной площади, занимаемой этими частицами на отделяемой поверхности и возможности массовой дозировки гранул разного цвета для получения полихромного покрытия. Проведенные на спектрофотометре СФ-10 колориметрические исследования подтвердили приемлемость графического метода расчета\*, основанного на использовании цветового графика Макадама с нанесенной на него косоугольной сеткой координат Выщегоуль.

Широкое распространение цементно-песчаные гранулы получили на Салаватском заводе КПД для офактуривания пенобетонных стеновых панелей жилых домов серии 111-108, разработанной ЛенЗНИИЭП (рис. 2). Такая отделка применена вместо оказавшихся непригодными фактур из плотного известнякового щебня.

Для организации производства на заводе цементно-песчаных гранул разработана технологическая линия, вклю-

\* Uudd D., Wyszeccki G. Color in Business Science and Industry.—Wiley Sons, 1965, № 7.



Рис. 2. Фрагмент фасада дома серии III-108, отделанного цементно-песчаными гранулами

УДК 691.327:693.546.42

Ф. Г. БРАУДЕ, канд. техн. наук (ЛИСИ); С. А. ОСМАКОВ, канд. техн. наук (Лесотехническая академия); В. А. ГОЛУБЕНКОВ, инж. (Главленинградстрой)

## Виброударное формование изделий из песчаных бетонов

ЛИСИ совместно с Главленинградстроем разрабатывает технологию и формовочное оборудование для изготовления из песчаных бетонов различных изделий, в том числе пространственных конструкций. При этом в основу положено использование виброударных режимов колебаний рабочих органов формовочных машин, что позволяет эффективно уплотнить жесткие песчаные бетонные смеси. Схемы устройства рабочих органов виброударных машин приведены на рис. 1.

В ПО Апатитстройиндустрия эксплуатируется низкочастотная виброударная установка для изготовления вентиляционных блоков в вертикальном положении (см. рис. 1,а). Подвижная рама опирается на резиновые прокладки и прижата к ним пружинами. На раме закреплен вибратор с вертикально направленными колебаниями. Под действием возмущающей силы вибратора подвижная рама отрывается от резиновых прокладок и падая ударяет по ним. В результате виброударного режима бетонная смесь интенсивно уплотняется. Форму с изделием снимают с пустообразователей сразу после формования. Изделие отличается равномерным распределением прочности по всей 3-метровой высоте. Марка песчаного бетона М200 достигается при расходе цемента 280 кг/м<sup>3</sup>. Установка проработала с 1973 г. и в 1980 г. была за-

менена виброударной, выполненной по двухмассной схеме (см. рис. 1,б). К подвижной раме подвешена упорная рама, между ними расположен вибратор вертикально направленного действия, имеющий верхний и нижний упругие ограничители перемещений. Во время работы вибратор поочередно ударяет по ограничителям, в результате чего бетонная смесь уплотняется. Установка опирается на фундамент через «мягкие» пружины, что позволяет снизить вибрацию на рабочих местах до уровня санитарных норм. Использование низкой частоты вибрирования (16 Гц) дает возможность уменьшить до допустимого (ГОСТ 12.1.003—76) уровень шума.

В ПО Сыктывкарстройиндустрия создана виброударная установка для изготовления одновременно двух фундаментных блоков (рис. 2). Она рассчитана на работу четырех серийных вибраторов ИВ-24 в режиме самосинхронизации [1]. Отсутствие механических синхронизаторов, соединительных валов и муфт делает ее простой по устройству и удобной в эксплуатации. Частота колебаний 46,6 Гц; амплитуда 0,7 мм; время уплотнения 40 с; годовая производительность 16 тыс. м<sup>3</sup>. Изделия изготавливают с немедленной полной распалубкой после формования. При расходе цемента марки М400 200 кг/м<sup>3</sup> прочность песчаного бе-

чающая пост сушки и просеивания песка, агрегат перемешивания исходной цементно-песчаной смеси, гранулятор упрощенной конструкции и устройство для фракционирования гранул.

Экономический эффект от внедрения на Салаватском заводе КПД гранулированного материала вместо известнякового щебня составляет около 3 р.м<sup>2</sup>. Это объясняется затратами на восстановление отделочного покрытия из известнякового щебня, которое, по данным натурного обследования, уже через 3—5 лет разрушается на 20—80% площади фасада.

Гранулированный материал пригоден также для отделки газобетонных изделий, изготавливаемых по горизонтально-литьевой технологии. Производство цементно-песчаных гранул может быть организовано на любом ДСК, располагающем оборудованием для сухого помола песка, а также на цементных заводах, работающих по сухому способу производства.

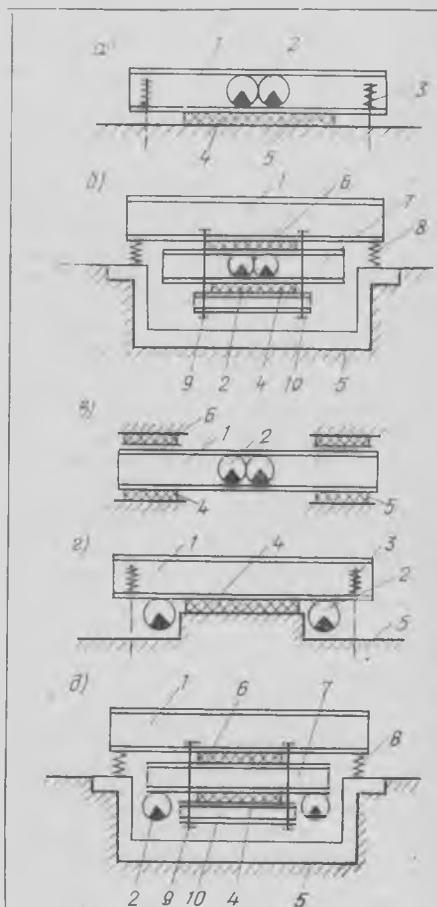


Рис. 1. Схемы рабочих органов виброударных формовочных машин

а — одномассная с принудительной синхронизацией; б — двухмассная с принудительной синхронизацией; в — одномассная с двусторонним ограничителем; г — одномассная с самосинхронизацией вибраторов; д) — то же, двухмассная; 1 — подвижная рама; 2 — вибратор; 3 — прижимные пружины; 4 — нижний упругий ограничитель; 5 — фундамент; 6 — верхний упругий ограничитель; 7 — ударная рама; 8 — опорные пружины; 9 — стяжные болты; 10 — упорная рама

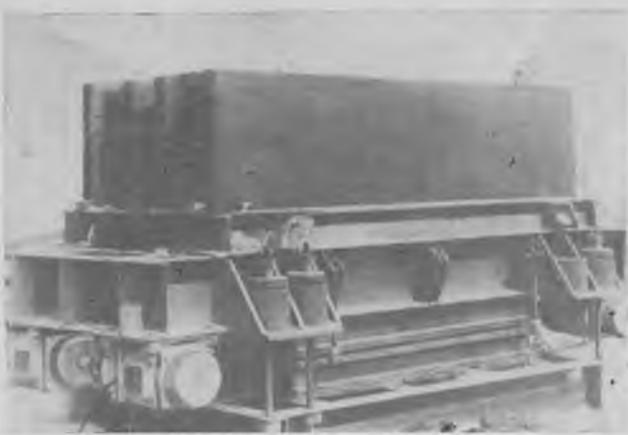


Рис. 2. Общий вид установки и фундаментных блоков

тона после термообработки составляет 16 МПа.

Для того же предприятия разработана по двухмассной схеме виброударная установка для изготовления из песчаных бетонов колец колодцев канализации и бортовых камней. Марка бетона М400 достигается при расходе цемента 450 кг/м<sup>3</sup>. Образцы прошли 400 циклов попеременного замораживания и оттаивания, при этом потери прочности не превышали 3,5%, а массы 0,5%. Установка состоит из четырех вибраторов ИВ-22, работающих синхронно. Частота колебаний 46,6 Гц; амплитуда 0,8 мм; время уплотнения 70 с.

По аналогичной схеме создана виброударная установка для выпуска армоцементных плит перекрытий размером 3×3×1,05 м (рис. 3). Установка эксплуатируется на экспериментальном заводе Главленинградстроя с 1978 г. Ее использование позволило перейти к выпуску изделий из песчаной бетонной смеси повышенной жесткости и тем самым снизить расход цемента на 157 кг/м<sup>3</sup>. Установка включает 4 вибратора ИВ-88, также работающих синхронно. Частота колебаний 23,3 Гц; амплитуда 1,2 мм.

На том же заводе завершена производственная проверка виброударной установки (см. рис. 1, в) для производства тротуарных плит размером 75×75 см из песчаных бетонов. Расход цемента марки М400 составляет 380 кг/м<sup>3</sup>. Образцы прошли 300 циклов замораживания и оттаивания. Частота колебаний 50 Гц; амплитуда 0,7 мм; годовая производительность 60 тыс. плит.

Начиная с 1979 г. на экспериментальном заводе работает двухблочная виброударная площадка грузоподъемностью 10 т, с помощью которой можно формировать изделия размером до 6,5×3 м, в том числе спаренные армоцементные пирамидальные конструкции. На виброплощадке установлены 4 вибратора ИВ-93 по два в каждом блоке. Частота колебаний 23,3 Гц; амплитуда 1,2 мм. Опыт эксплуатации виброударной площадки показал, что стабильность самосинхронизации вращения дебалансных валов вибраторов полностью обеспечивается как в каждом блоке, так и между ними. На виброударной площадке изготавливают различного вида изделия, в том числе пирамидальные сваи длиной 6 м. Марка песчаного бетона М300 достигается при расходе цемента марки М400 340 кг/м<sup>3</sup>.

Практический интерес представляет изготовление из песчаных бетонов свай на



Рис. 3. Армоцементные пирамидальные конструкции перекрытий

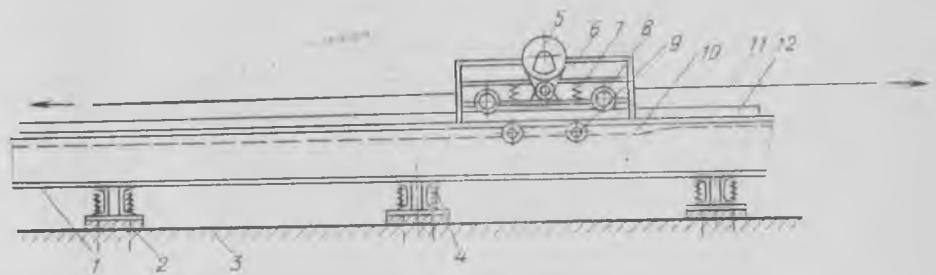


Рис. 4. Схема виброударной машины для стендового изготовления свай

1 — форма; 2 — резиновые прокладки; 3 — фундамент; 4 — прижимные пружины формы; 5 — вибратор; 6 — тележка; 7 — прижимные пружины роликов; 8 — верхние ролики; 9 — нижние ролики; 10 — пригруз; 11 — тяговый трос; 12 — направляющие

стендах. Для этого на экспериментальном заводе была создана виброударная установка (рис. 4). Форма установлена на резиновые прокладки и прижата к ним пружинами. Сверху формы расположена тележка с вибратором вертикально направленного действия. Тележка прижата к форме верхними и нижними роликами и имеет возможность перемещаться вдоль формы. При работе вибратора в колебаниях увлекается участок формы, прилегающий к тележке, который отрывается от прокладок, падает, ударяясь о них, в результате смесь уплотняется. По мере перемещения тележки в вибрацию вовлекаются все новые участки. Расход цемента для получения бетона марки М300 составляет 380 кг/м<sup>3</sup>.

Годовая экономическая эффективность применения виброударных установок в

зависимости от стоимости песка и щебня в районах введения составляет 40—110 тыс. р. в расчете на одну установку.

Во всех рассмотренных случаях использовали песок с  $M_{кр} = 2,3...2,7$ . Однако опыт работы виброударных установок показал, что их применение позволяет получать изделия с мелкими песками ( $M_{кр} = 0,8...1,5$ ) при некотором увеличении расхода цемента (см. таблицу).

Расход цемента марки М400, кг/м <sup>3</sup>	Прочность песчаного бетона, МПа, при $M_{кр}$						
	0,8	1	1,5	1,8	2	2,3	2,7
200	5,5	6	8,5	12	12,5	13	20
300	11	12	18	21	26,5	29,5	37
400	24	29	32	33	39,5	42	54,5
500	36	37	38,5	39	43,5	54	69
600	42	45	45,5	47	50,5	60	79

Как видно из таблицы, при использовании песков средней крупности, можно получать высокопрочные бетоны марок М600—М700 при расходе цемента, не превышающем нормы для бетонов на щебне при обычном уплотнении.

Помимо кубиковой прочности определяли призмную прочность, прочность на растяжение при изгибе, усадку, ползучесть и модуль упругости, а также анализировали структуру песчаного бетона. В результате установлено, что деформативные характеристики песчаных бетонов, уплотненных на виброударном оборудовании, мало отличаются от бетонов на щебне, изготовленных обычным способом, поскольку расход цемента для бетонов одной и той же прочности в обоих случаях приблизительно одинаков [2].

## Выводы

Рассмотренные виброударные формовочные машины отличаются простотой устройства, удобством в эксплуатации, содержат серийные вибраторы и могут быть изготовлены механическими цехами заводов ЖБИ. Они позволяют формировать изделия из песчаных бетонов, в том числе пространственные конструкции, без перерасхода цемента по сравнению с бетонами на щебне при обычном уплотнении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Осмаков С. А., Брауде Ф. Г. Виброударные формовочные машины. Л., Стройиздат, 1976.
- Основные физико-механические свойства песчаных бетонов, уплотненных на виброударном оборудовании/Ф. Г. Брауде, Л. Р. Веревкин, В. А. Голубенков, Н. А. Кормушин. — В межвузовском сб. ЛИСИ: Производство строительных изделий и конструкций. Л., 1979.

УДК 624.012.4:624.92

Р. В. ВОРОНКОВ, А. И. МАВРИН, В. В. РОДИОНОВА, кандидаты техн. наук;  
Н. И. БАТОРЕВИЧ, инж. (Ленинградская лесотехническая академия)

## Возведение монолитных конструкций без применения опалубки

Современная технология должна улучшать не один показатель за счет ухудшения другого, а сразу несколько основных показателей. Этим требованиям удовлетворяет технология безопалубочного бетонирования, исследованная в натуральных условиях Ленинградской лесотехнической академией совместно с СУ-326 треста № 35 Главзапстроя (Минстроя СССР).

Армирование выполняется в виде пространственных каркасов, а опалубочная форма создается по принципу оставляемой (замоноличиваемой) опалубки.

Сущность новой технологии удобно показать на примере возведения фундамента под стальную колонну. Сначала арматуру подколонника объединяют в пространственный каркас (рис. 1) и доставляют к специально оборудованному стенду, представляющему собой ровную жесткую площадку, облицованную сверху листовой сталью. На площадке расстилают слой бетона на мелком заполнителе толщиной 60—120 мм на площади, соответствующей боковой грани каркаса. На сетках укрепляют фиксаторы защитного слоя арматуры и каркас укладывают на слой бетона. К каркасу подвешивают вибраторы, которые вибрируют его и погружают в слой бетона до тех пор, пока фиксаторы защитного слоя не достигнут площадки стенда. Затем устраивают шероховатость поверхности бетона изнутри каркаса специальными граблями и оставляют до схватывания. Для ускорения твердения бетона применяют термовлажностную обработку.

После набора бетоном достаточной прочности каркас приподнимают и погружают в слой бетона следующей гранью. Эту операцию повторяют до тех пор, пока все грани каркаса не покрываются тонкой бетонной оболочкой. Полученный элемент можно назвать арматурно-опалубочным блоком, армоблоком, который включает в себя рабочую арматуру и одновременно является опалубочной формой. Готовые армоблоки транспортируют в котлован и складывают непосредственно у мест их монтажа (рис. 2). При устройстве монолитного подколонника фундамента с помощью армоблока бетонирование осуществляется без деревянной опалубки (рис. 3).

Еще больший технологический эффект достигается при использовании такой технологии для возведения всевозможных стен. Стеновые промежуточные армоблоки покрывают бетоном с двух

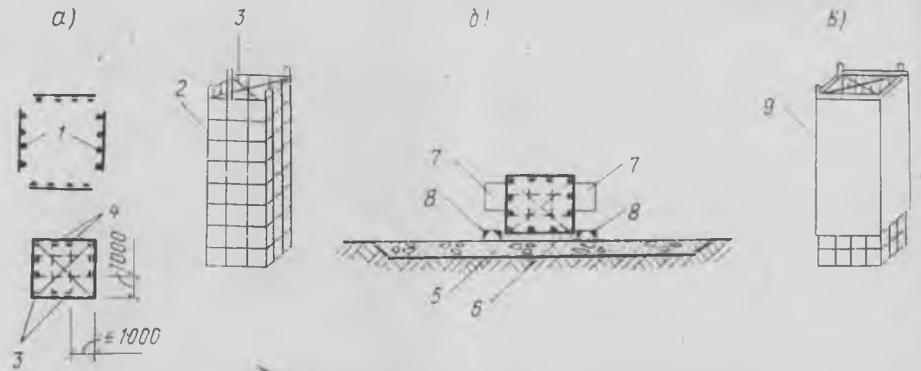


Рис. 1. Изготовление армоблоков

*a* — пространственный арматурный каркас; *б* — устройство бетонной оболочки каркаса; *в* — готовый армоблок; 1 — плоские сетки; 2 — пространственный каркас; 3 — поперечные перекрестные связи; 4 — поперечные схватки; 5 — плита стенда; 6 — слой свежего бетона; 7 — вибраторы; 8 — ограничительные планки из двутавра или швеллера, ограничивающие растекание бетона; 9 — армоблок в готовом виде

сторон, торцевые — с трех. Армоблоки стен можно изготавливать с выпусками арматуры в любом направлении. Например, блоки поперечных стен могут иметь выпуски арматуры для сопряжения с продольными стенами (горизонтальные выпуски), а также вертикальные выпуски для связи с обвязочными балками, перекрытиями и другими элементами сооружений. Высота стеновых армоблоков может достигать 12 м,

ширина 2—3 м и более, толщина — в зависимости от толщины стен. Небольшие по высоте армоблоки могут быть вытянутыми в длину до 12 м. Можно также изготавливать фигурные армоблоки непрямоугольного очертания, например треугольные блоки контрфорсов, и др.

Закладные детали вместе с анкерующими стержнями укрепляют на арматурном каркасе, получая таким путем полностью готовый армоблок. При не-



Рис. 2. Общий вид места складирования армоблоков в котловане (справа видны смонтированные армоблоки)

обходимости закладные детали, трубы промышленных проводок или другие элементы можно устанавливать по месту на смонтированные армоблоки непосредственно перед укладкой в них бетона. Оболочку армоблока легко пробить в любом месте и затем заштукатурить или закрыть опалубочным щитком.

Для обеспечения геометрической неизменяемости в армоблоках рекомендуется устанавливать не менее двух поперечных перекрестных связей, отстоящих от концов не более чем на 1 м. В высоких армоблоках такие связи следует располагать не реже чем через 3 м. Противоположные арматурные сетки соединяют между собой поперечными схватками с шагом не более 1 м в обоих направлениях, которые служат для восприятия усилий горизонтального давления свежееуложенной вибрируемой смеси, а также (если элемент рассчитывается на сжатие или поперечный изгиб) играют роль поперечной арматуры.

В вертикальной плоскости стеновых армоблоков предусматривают также перекрестные связи или решетку, которая в сочетании со схватками и вертикальными стержнями обих сеток образует ветровые фермы. Их рассчитывают на ветровую нагрузку, а также на нагрузки, возникающие при транспортировании и монтаже армоблоков.

Конструкции, возводимые по технологии безопалубочного бетонирования, проектируют как сборно-монолитные в соответствии с Руководством по проектированию железобетонных сборно-монолитных конструкций (М., Стройиздат, 1977).

Технология безопалубочного бетонирования с армоопалубочными блоками позволяет легко устраивать сопряжения продольных стен с поперечными, предусматривая соответствующие армоблоки с разной шириной сеток, а также сопряжения фундаментов колонн (подколонников) со стенами подвалов. При необходимости сопряжение конструкций можно осуществлять по месту с устройством окон в армоблоках и пропуском в них арматуры. При этом обеспечивается гладкая поверхность конструкций без раковин и других дефектов, а также плотная структура бетона поверхностного слоя. Армоблоки устанавливают на месте кранами, выверяют и фиксируют (рис. 4). При монтаже на них укладывают инвентарный настил, служащий подмостями.

Армоблоки отличаются высокой долговечностью. Даже при значительных деформациях, вызванных случайным ударом, бетонная оболочка не осыпается и остается пригодной для ремонта. При больших повреждениях оболочки армоблока во время транспортирования или монтажа всегда можно локально применить участок опалубки в месте повреждения. При устройстве подколонников, столбов, стен в подземных сооружениях после укладки бетона в плитную часть или днище можно производить обратную засыпку, с которой потом бетон будет подан в армоблоки. Такая возможность придает большую гибкость технологии возведения сооружений.

Описанная технология применена так-

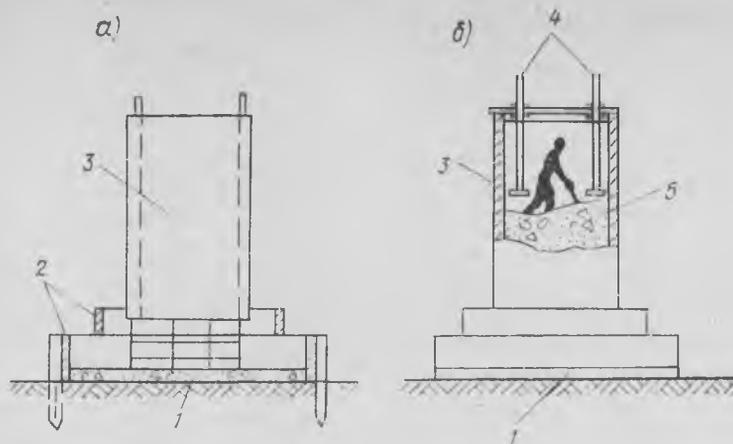


Рис. 3. Устройство монолитного железобетонного фундамента стальной колонны

а — схема установки опалубки плитной части и армоблока подколонника; б — схема укладки бетона; 1 — бетонная подготовка; 2 — опалубка плитной части; 3 — армоопалубочный блок; 4 — анкерные болты; 5 — бетон замоноличивания

же при возведении стен бокса парогенераторов II очереди Кольской АЭС\*.

\* Проект разработан Ленинградским отделением Теплоэлектропроекта, технология применена также на Ново-Воронежской и Ровенской АЭС.

для которых самым невыгодным напряженным состоянием является внецентренное растяжение.

Наиболее экономичной и прогрессивной технологией возведения стен боксов парогенераторов на АЭС с реакторами

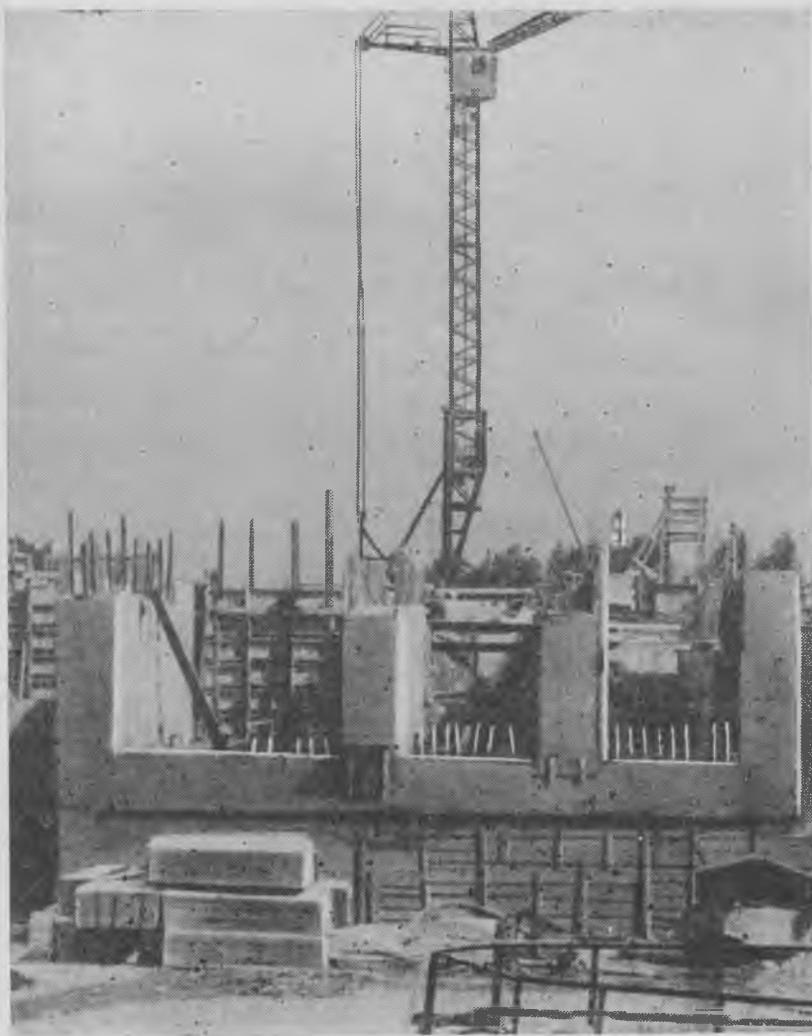


Рис. 4. Общий вид фундамента технологического оборудования, возводимого по безопалубочной технологии с применением армоопалубочных блоков

ВВЭР-440 до последнего времени считалась технология с применением так называемых блок-ячеек — армоопалубочных блоков, имеющих стальные листы\* с обеих сторон. Листы выполняли функции опалубки при бетонировании, а затем служили внешней листовой рабочей арматурой и герметизирующей облицовкой. Несмотря на эффективное многофункциональное использование стального листа, из-за большого числа разнотипных отверстий и обилия разнообразных закладных де-

\* Технология предложена Институтом промышленного строительства Академии строительства ГДР и Теплоэлектропроектом и применена на АЭС «Норд-II» (ГДР) и др.

талей для отдаленных районов строительства (Кольская АЭС) стоимость 1 м<sup>3</sup> стен, возведенных в армоблоках, составляла 371—397 р.

Применение армоопалубочных блоков с арматурными сетками, погруженными в бетон, вместо стальных листов позволило почти вдвое снизить стоимость стен (в среднем на 163 р.).

Высокая экономическая эффективность применения армоблоков с арматурными сетками, погруженными в бетон, обеспечила использование ее на Кольской АЭС для возведения более половины всех конструкций реакторного отделения (из общего объема

69 800 м<sup>3</sup> 60—70% конструкций возведены по описанной технологии).

По сравнению с традиционным бетонированием стен в деревянной опалубке предлагаемая технология позволяет снизить трудовые затраты в постройках условиях почти вдвое (на Кольской АЭС на 41%), уменьшить расход лесоматериала примерно на 90%, а также обеспечить высокое качество поверхности конструкций, плотную структуру и благоприятную ориентацию капилляров в защитном слое бетона. Наибольший экономический эффект дает ее применение при возведении стеновых конструкций.

УДК 693.542«324»

Н. Н. ДАНИЛОВ, д-р техн. наук, проф.;  
С. М. НАУМОВ, К. А. ГАСАНОВ, инженеры (МИСИ)

## Кондуктивный разогрев бетонной смеси в технологии зимних работ

Практика применения предварительно разогретых бетонных смесей в технологии зимнего бетонирования для определенных условий свидетельствует о ее эффективности [1—3]. В настоящее время в качестве источника тепловой энергии для предварительного разогрева бетонной смеси используют электроэнергию или водяной пар.

Повсеместному практическому применению предварительно разогретых бетонных смесей способствовал метод электроразогрева, основанный на эффекте электропроводности растворной составляющей бетонной смеси. При включении бетонной смеси в электрическую цепь в растворной ее части происходит выделение тепла. В процессе электроразогрева и после отключения электроэнергии оно перераспределяется по всему объему бетонной смеси, сообщая последней определенную среднюю температуру. Данное перераспределение тепла приводит к снижению фиксированной к концу разогрева температуры. Чем больше крупность заполнителя и его объемная концентрация в бетонной смеси, тем значительнее уменьшение конечной температуры смеси при одном и том же времени электроразогрева [3].

Электропроводность растворной составляющей бетонной смеси меняется в широких пределах в зависимости от вида применяемых цементов, химических добавок и расхода воды, что на практике приводит либо к значительному снижению скорости разогрева, либо к нежелательной перегрузке электрооборудования. Кроме того, опыт производства работ по электроразогреву свидетельствует [1], что на границе бетонная смесь — электрод-контактное элект-

рическое сопротивление, возникающее из-за недостаточной чистоты электрода и экранирования его поверхности паровоздушными пузырьками при температуре в приэлектродной зоне более 85°C, приводит к увеличению перепадов температур по объему разогреваемой смеси, трудно поддающихся контролю и регулированию.

Для устранения этих несовершенств в МИСИ им. Куйбышева авторами был разработан кондуктивный метод предварительного разогрева бетонной смеси, в котором основным критерием использования кондуктивного тепла служит коэффициент температуропроводности смеси.

Устройство для кондуктивного разогрева представляет собой емкость, внутри которой расположен нагревательный элемент (низковольтный термоэлемент), подключенный к вторичной обмотке понижающего трансформатора, служащего для согласования электрической нагрузки с промышленной электрической сетью напряжением 220 и 380 В.

Низковольтный термоэлемент выполнен из стальных пластин, расположенных в параллельных плоскостях и отстоящих одна от другой на фиксированном расстоянии. При помощи стальных накладок обеспечивается электрически последовательное соединение пластин, которые нагреваются за счет джоулевого тепла, выделяющегося в них при прохождении электрического тока промышленной частоты. Тепло от горячих пластин кондуктивно передается бетонной смеси, разогревая последнюю. При этом, в отличие от электроразогрева, бетонная смесь в электриче-

скую цепь не включается, так как электрическое сопротивление смеси на участке между двумя смежными пластинами во много раз больше суммарного электрического сопротивления этих пластин и накладки. При выбранных для практических целей расстоянии между пластинами  $d$ , ее длины  $l$ , ширины  $h$  и толщины  $\delta_{ст}$  это превышение достигает нескольких тысяч раз.

Для обеспечения минимума перепадов температур по объему разогреваемой смеси низковольтный термоэлемент должен повторять очертания внутренней поверхности рабочей емкости, а суммарная тепловая мощность, выделяемая на поверхности пластин, должна соответствовать количеству тепловой энергии, требуемому для разогрева данного объема бетонной смеси.

Для этого должно выполняться соотношение:

$$0,278 \cdot 10^{-3} c \gamma V \Delta t = \frac{u^2 \delta_{ст} h}{\rho_{ст} l_t} \tau,$$

где  $c$  — удельная теплоемкость бетонной смеси, кДж/кг·К;  $\gamma$  — объемная масса бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — объем одновременно разогреваемой смеси, м<sup>3</sup>;  $l_t$  — суммарная длина пластин низковольтного термоэлемента, м;  $u$  — напряжение, подаваемое на низковольтный термоэлемент, В;  $\Delta t = T_k - T_n$  — разность между начальной и конечной температурой смеси, К;  $\tau$  — время разогрева смеси, ч.

Выбор расстояния между пластинами обусловлен следующими факторами: возможностью свободного размещения крупного заполнителя между ними; обеспечением требуемой температуры разогрева смеси за установленное время при ограничении наибольшей температуры на поверхности пластин; допустимой для данного вида цемента температурой.

При расстоянии между пластинами, равном 0,15 м, заполнитель с предельной крупностью 60 мм, как показала практика, вполне укладывается между ними, так как свободное перемещение заполнителя ограничено только с двух сторон. Выполнение второго условия подтверждается результатами производственных экспериментов, которые приводятся ниже.

Конструктивные особенности низковольтного термоэлемента продиктованы технологическими требованиями обеспечения его прочности и жесткости, поэтому он изготавливается из стальных пластин толщиной 2—4 мм с известными электротехническими характеристиками. Для выделения расчетной мощности, потребной для разогрева данного объема бетонной смеси, регулирующим параметром служит подводимое к термоэлементу напряжение.

Для производственной проверки данного метода было создано устройство кондуктивного предварительного разогрева бетонной смеси, которое было апробировано и нашло применение при возведении монолитных фундаментов производственного комплекса Марийского территориального управления строительства зимой 1980/81 г. в г. Йошкар-Оле.

Бетонная смесь (состава 1:1,94:3,02 с О.К.=8—12 см, на портландцементе марки М 500 Алексеевского завода) разогревалась в поворотной бадье емкостью 0,7 м<sup>3</sup> при помощи опускного низковольтного термоэлемента, выполненного из стальных пластин толщиной 2 мм. Между собой пластины соединялись электрически последовательно с помощью сварки через стальные накладки толщиной 6 мм. Расстояние между пластинами составляло 0,15 м. Крайние пластины низковольтного термоэлемента были снабжены контактными медными шинами сечением 900 мм<sup>2</sup>, припаянными оловянным припоем по всей высоте пластины. Это обеспечивало равномерное распределение электрического поля по поверхности пластин.

К контактным шинам подключались выводы вторичной обмотки понижающего трансформатора, в качестве которого применялся сварочный трансформатор ТД-500 с замененными обмотками. Так как во вторичной обмотке развиваются токи порядка 7000 А при напряжении 12—15 В, ее выполнили из алюминиевых шин сечением 1600 мм<sup>2</sup>.

Поперек пластин низковольтного термоэлемента сверху жестко крепили два опорных деревянных бруска сечением 50×100 мм, на которых возможно ближе к контактным шинам был установлен понижающий трансформатор. Опорные брусочки имели выпуски (10—15 см) по обе стороны низковольтного термоэлемента для их опирания на боковые стенки бадьи и снабжались монтажными хомутами (рис. 1). Такая конструкция обеспечивала электроизоляцию корпуса трансформатора от термоэлемента и давала возможность быстрого подъема и перестановки устройства.

В загруженную бетонной смесью бадью опускали низковольтный термоэлемент. При включении расположенного на бадье вибратора пластины термоэлемента под действием собственной массы и массы трансформатора легко погружались в смесь, а выпуски опорных брусков, доходя до боковых стенок бадьи, фиксировали зазор между нижним краем пластин и дном рабочей емкости, который составлял 10—20 мм. При этом верхний край пластин закрывался бетонной смесью слоем толщиной 15—20 мм. Затем начинался процесс разогрева путем по-

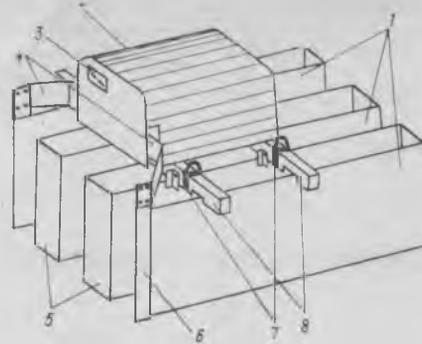


Рис. 1. Общий вид низковольтного термоэлемента с трансформатором

1 — пластины низковольтного термоэлемента; 2 — понижающий трансформатор; 3 — ножевой разъем для включения устройства в сеть; 4 — выход вторичной обмотки; 5 — стальные накладки; 6 — контактная медная шина; 7 — строповочные дуги; 8 — опорные деревянные брусочки

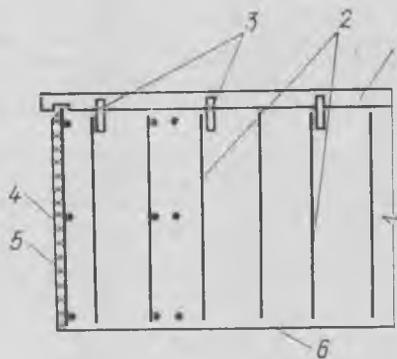


Рис. 2. Расстановка термпар при разогреве бетонной смеси

1 — опорный деревянный брусок; 2 — пластины низковольтного термоэлемента; 3 — корытчи из уголков для крепления опорных брусков; 4 — боковая стенка поворотной бадьи; 5 — утепление боковой стенки; 6 — днище бадьи

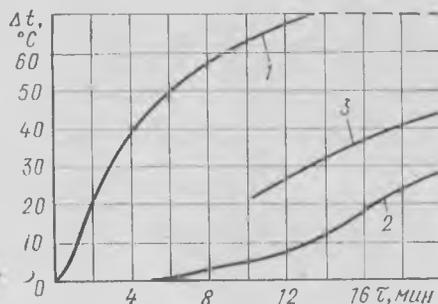


Рис. 3. Изменение температуры на контактной поверхности и средней температуры разогрева бетонной смеси при ее кондуктивном разогреве

1 — температура точек на контактной поверхности; 2 — то же, в центральных слоях; 3 — средняя температура разогрева бетонной смеси

дачи напряжения 380 В на первичную обмотку трансформатора. В ходе разогрева замеряли температуру в девяти характерных точках при помощи медь-константановых термомпар (рис. 2).

Через 10—15 мин после начала процесса температура на поверхности пластин поднималась до 75—80°C и поддерживалась до конца разогрева путем включения и выключения установки. Процесс разогрева длился в течение 18—20 мин, при начальной температуре бетонной смеси 7—12°C и отрицательной (9—13°C) температуре наружного воздуха. К концу разогрева температура в центральных слоях достигла 30—35°C, в слоях, примыкающих к боковым стенкам бадьи при утеплении последних минеральной ватой, поднималась до 30—40°C, а средняя температура смеси составила 45—50°C (рис. 3). Среднюю температуру определяли путем измерения, проводимых через 10 мин после прогрева в бункере и через 15—20 мин — в конструкции.

После окончания разогрева питание отключали и низковольтный термоэлемент с трансформатором краном извлекали из бадьи, а горячую бетонную смесь подавали к месту бетонирования.

На разогрев 0,7 м<sup>3</sup> бетонной смеси расходовалось 28—35 кВт·ч электроэнергии. На низковольтный термоэлемент подавалось напряжение 13,5 В; потребляемый из сети ток составил 250—230 А.

Для очистки низковольтного термоэлемента от налипшего цементного клея достаточно было его включить на 1—1,5 мин, что обеспечивало подъем температуры на поверхности пластин до 110—120°C. При этом цементный клей обезвоживался и превращался в пыль, легко сметаемую при последующем погружении низковольтного термоэлемента в бетонную смесь.

Опыт применения кондуктивного предварительного разогрева бетонной смеси показал, что по сравнению с электрозагреевом достигается экономия до 0,8 р. и снижаются трудозатраты на 0,9 чел.-ч на 1 м<sup>3</sup> разогреваемого бетона; затраты электроэнергии примерно те же. Экономия обеспечивается вследствие исключения поста разогрева, значительного снижения материальных и трудовых затрат, связанных с периодической чисткой, промывкой и содержанием нагревателя, а также сокращения численности обслуживающего персонала. Кроме того, низкое напряжение на термоэлементе (10—15 В) не требует особых мероприятий по технике безопасности, что позволило отказаться от устройства специально оборудованного поста разогрева и тем самым обеспечить возможность максимального приближения участка разогрева бетонной смеси к месту ее укладки.

Более подробные сведения можно получить на кафедре ТСП МИСИ (113114, Москва, Шлюзовая наб., 8).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арбеньев А. С. Технология бетонирования с электрозагреевом смеси. М., Стройиздат, 1975.
- Малинина Л. А., Зубенко В. М. Предварительный пароразогрев бетонной смеси. — В кн.: Зимнее бетонирование и тепловая обработка бетона. Под ред. Миронова С. А. М., Стройиздат, 1975.
- Крылов Б. А., Ли А. И. Форсированный электрозагреев бетона. М., Стройиздат, 1975.

УДК 624.072.2:691.87:698.554

С. М. КРЫЛОВ, д-р техн. наук, проф. (НИИЖБ);  
Л. Р. МАИЛЯН, канд. техн. наук (РИСИ)

## Влияние распределения арматуры на свойства неразрезных балок

Неразрезные железобетонные балки с высокопрочной арматурой являются эффективными строительными конструкциями. Рациональное распределение арматуры в опорных и пролетных сечениях позволяет снизить расход стали и добиться наиболее выгодных условий работы. Границы распределения арматуры, согласно Руководству по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций (М., Стройиздат, 1975), определяются требованиями эксплуатационных свойств (деформативности и трещиностойкости).

Испытания проводили на 22 двухпролетных неразрезных железобетонных балках размером  $12 \times 20 \times 430$  см, с расчетными пролетами по 200 см, загружавшихся одинаковыми сосредоточенными силами посередине каждого пролета. Балки I серии (6 шт.) армировали сталью класса А-III, балки II и III серии (16 шт.) — высокопрочной соответственно преднапряженной и ненапря-

гаемой сталью класса Ат-VI. Все балки имели примерно одинаковую несущую способность.

В опытах варьировали распределение арматуры в опорных и пролетных сечениях  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  в балках I серии от 0,5 до 2; в балках II и III серий от 0,7 до 2 и уровень преднапряжения арматуры  $\sigma_0/\sigma_{0,2}$  в балках II и III серий от 0 до 0,91.

Балки с высокопрочной арматурой изготавливали сборными — из двух пролетных и одного опорного блоков, что позволило создавать в каждом из них независимое армирование и преднапряжение (рис. 1). После изготовления блоки стыковались вблизи сечений с нулевыми моментами.

Влияние распределения арматуры, изменяющегося в более широких пределах, оценивали расчетом условных неразрезных балок с расширенными границами изменения  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  в балках с арматурой класса А-III от 0,1 до 6, а в бал-

ках с арматурой класса Ат-VI — от 0,1 до 4.

Несмотря на изменение распределения арматуры в довольно широких пределах, прогибы в балках с арматурой класса А-III и с ненапрягаемой арматурой класса Ат-VI примерно одинаковы: отклонения не превышали 6%. В балках с преднапряженной арматурой разность в прогибах более ощутима. Тем не менее в эксплуатационных стадиях работы они отличались незначительно (до 15%). Существенные расхождения прогибов начинались лишь в стадиях, близких к разрушению, когда напряжения в арматуре достигали физического или условного предела текучести.

При значительном отличающемся отношении  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  влияние распределения арматуры на прогибы неразрезных балок увеличивается. Так, резкое уменьшение  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  повышает прогиб. В меньшей степени увеличивается прогиб с повышением  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  (рис. 2, а). Опытные и расчетные данные показали, что наименьшими оказались прогибы в балках с одинаковым армированием опорных и пролетных сечений.

С ростом  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  отношение  $M_{оп}/M_{пр}$  возрастает медленнее, при этом соотношение напряжений в арматуре пролетных и опорных сечений  $\sigma_{a.оп}/\sigma_{a.пр}$  изменяется незначительно, так как меньшей площади арматуры соответствует меньший момент. Соотношение кривизны  $\frac{1}{\rho_{оп}} / \frac{1}{\rho_{пр}}$  как функции краевых деформаций арматуры и бетона также изменяется незначительно. Кривизна в пролетном сечении  $\frac{1}{\rho_{пр}}$ , определяющая прогибы, незначительно отличается при существенном изменении распределения арматуры. О таком соотношении кривизны свидетельствует и анализ известной формулы С. М. Крылова:

$$\frac{M_{оп}}{M_{пр}} = \frac{B_{оп}}{B_{пр}} \frac{\varphi_{оп}}{\varphi_{пр}} \frac{\Delta l_{пр}}{\Delta l_{оп}},$$

где  $\frac{\varphi_{оп}}{\varphi_{пр}} \frac{\Delta l_{пр}}{\Delta l_{оп}} = C$  в общем случае является постоянной величиной для данной схемы загрузки и не зависит от армирования и уровня нагрузки. Приведем эту формулу к виду

$$\frac{M_{оп}}{M_{пр}} \frac{B_{пр}}{B_{оп}} = C,$$

можно заметить, что изменение распределения арматуры не изменяет соотношение кривизны на опоре и в пролете.

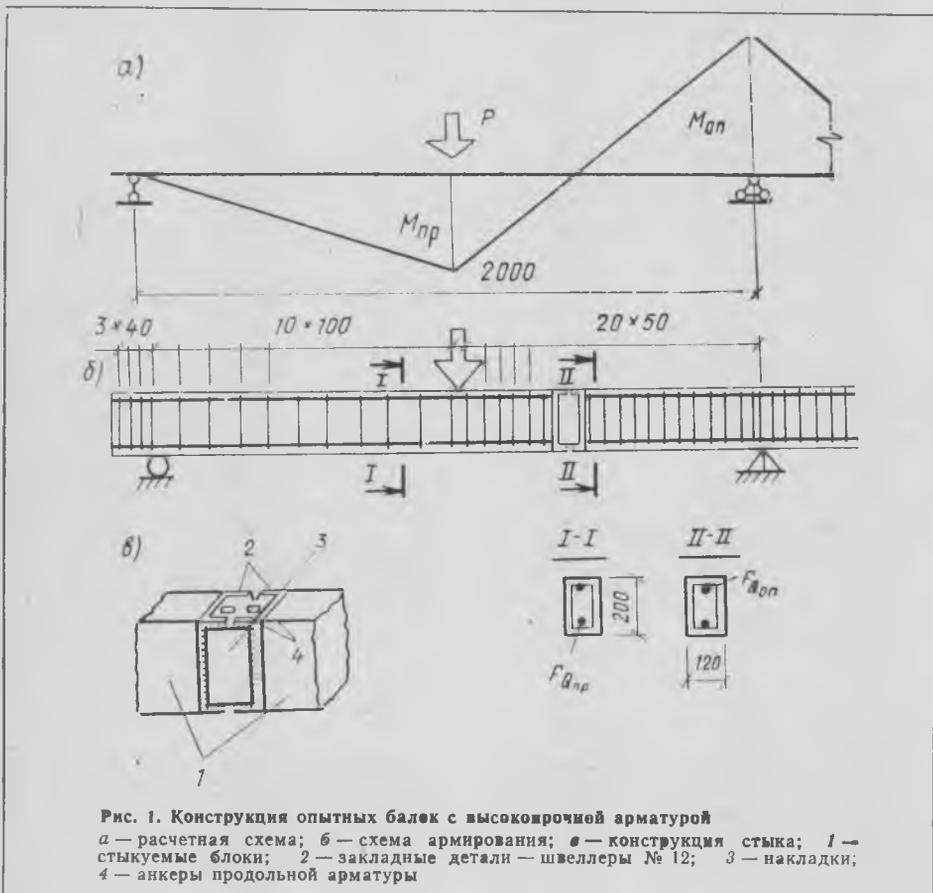


Рис. 1. Конструкция опытных балок с высокопрочной арматурой

а — расчетная схема; б — схема армирования; в — конструкция стыка; 1 — стыкуемые блоки; 2 — закладные детали — швеллеры № 12; 3 — накладки; 4 — анкеры продольной арматуры

В балках с ненапрягаемой арматурой при увеличении отношения  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  абсолютные значения моментов образования трещин в опорных сечениях несколько уменьшаются, а в пролетных — возрастают, что связано с отрицательным влиянием ненапрягаемой арматуры на усадочную трещиностойкость бетона. Относительные моменты трещинообразования  $\frac{M_T}{M_{пред}}$  с увеличением армирования сечений существенно снижаются, так как  $M_{пред}$  возрастает, а  $M_T$  уменьшается.

В преднапряженных балках трещиностойкость сечений обусловлена в основном обжатием бетона, поэтому при одинаковом уровне преднапряжения опорной и пролетной арматуры с увеличением  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  абсолютные значения моментов образования трещин в опорных сечениях возрастают, а в пролетных снижаются. В такой же степени изменяются и предельные моменты, поэтому относительные моменты трещинообразования с изменением распределения арматуры практически постоянны.

Распределение арматуры влияет и на ширину раскрытия трещин в опорных и пролетных сечениях. При  $F_{a.оп}/F_{a.пр} > 1$  ширина раскрытия трещин в пролете возрастает, а на опоре — уменьшается. Это наблюдается в балках с ненапрягаемой арматурой класса А-III и Ат-VI с преднапряженной высокопрочной арматурой, что подтверждается также результатами расчета с расширенными границами изменения  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  (см. рис. 2,б). Изменение ширины раскрытия трещин в зависимости от распределения арматуры при эксплуатационных нагрузках проявляется в меньшей степени, чем изменения изгибающих моментов. При  $F_{a.оп}/F_{a.пр} = 0,7..2$  влиянием распределения арматуры на ширину раскрытия трещин можно пренебречь.

На примере двухпролетных неразрезных балок, нагруженных сосредоточенными силами посередине пролетов, изучали оптимальное армирование опорных и пролетных сечений. Опытные и расчетные данные показали, что наибольший расход арматуры наблюдается при  $F_{a.оп}/F_{a.пр} = 0$ , т. е. при распадении неразрезной балки на систему однопролетных статически определимых элементов. Расход стали в этом случае принят за 100%. При увеличении  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  расход арматуры снижается, причем особенно резко при возрастании  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  от 0 до 0,7 (см. рис. 2,в). При изменении  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  от 0,7 до 3 общий расход стали изменяется незначительно и составляет 45—50% расхода стали в системе статически определимых балок.

### Выводы

Прогибы неразрезных железобетонных балок с ненапрягаемой и высоко-

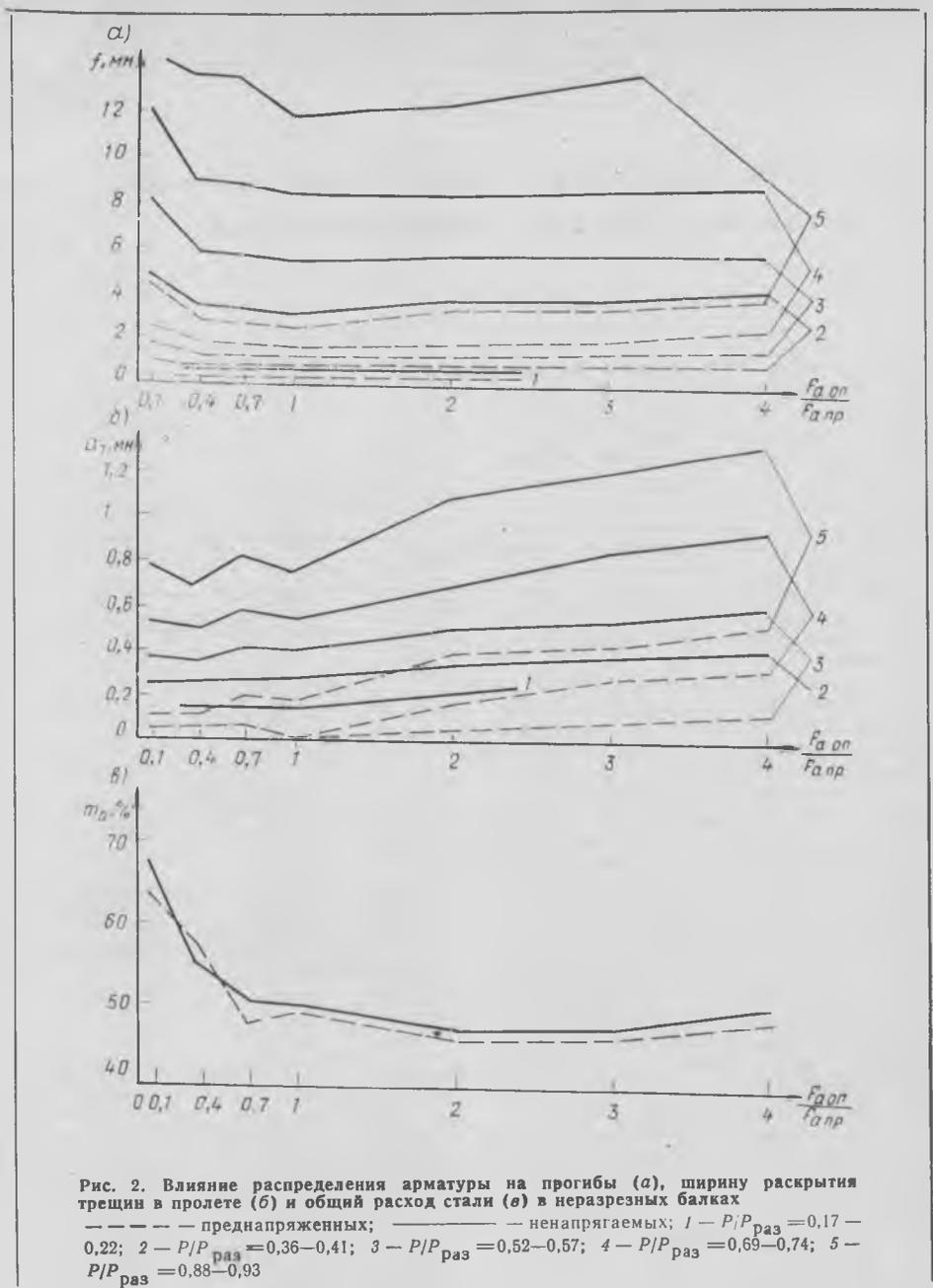


Рис. 2. Влияние распределения арматуры на прогибы (а), ширину раскрытия трещин в пролете (б) и общий расход стали (в) в неразрезных балках  
 — — — — — преднапряженных; — — — — — ненапрягаемых; 1 —  $P/P_{раз} = 0,17 - 0,22$ ; 2 —  $P/P_{раз} = 0,36 - 0,41$ ; 3 —  $P/P_{раз} = 0,52 - 0,57$ ; 4 —  $P/P_{раз} = 0,69 - 0,74$ ; 5 —  $P/P_{раз} = 0,88 - 0,93$

прочной преднапряженной арматурой при изменении распределения опорной и пролетной арматуры в пределах  $F_{a.оп}/F_{a.пр} = 0,4..3$  в эксплуатационных стадиях работы изменяются незначительно (до 15%). Наименьшие прогибы наблюдаются при одинаковом армировании опорных и пролетных сечений.

При одинаковом уровне преднапряжения опорной и пролетной арматуры изменение  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  практически не

влияет на относительные моменты трещинообразования ( $M_T/M_{пред}$ ). При  $F_{a.оп}/F_{a.пр} = 0,7..2$  и эксплуатационных уровнях нагрузки влияние распределения арматуры на ширину раскрытия трещин можно не учитывать.

Суммарный расход стали при возрастании  $F_{a.оп}/F_{a.пр}$  от 0 до 0,7 снижается почти вдвое, однако при дальнейшем росте указанного отношения практически не изменяется.

## Прочность элементов с двузначной эпюрой моментов на действие поперечных сил

Железобетонные элементы с двузначной эпюрой моментов охватывают широкий класс конструкций. К ним относятся неразрезные, консольные и защемленные балки, ригели и колонны рам, перемычки и т. д. Для изучения их работы при действии поперечных сил в НИИЖБ были проведены исследования консольных балок с поперечным армированием и без него, имеющих в средней своей части между грузом и опорой двузначную обратно симметричную эпюру изгибающих моментов (рис. 1,а).

Главным переменным фактором в консольных балках является относительная длина участка с двузначной эпюрой моментов  $a/h_0$ , которую варьировали в широких пределах, от 0,67 (короткие элементы) до 5,33 (длинные элементы). Величину отношения  $M/Qh_0$  в балках, составляющую приблизительно 0,5  $a/h_0$ , изменяли от 0,33 до 2,67. Параллельно с консольными были испытаны обычные свободно опертые балки — элементы с однозначной эпюрой моментов на участке действия поперечной силы, в которых  $a/h_0 = M/Qh_0$ . Схемы испытаний балок подобраны так, чтобы можно было сопоставить работу элементов с двузначной и однозначной эпюрами моментов при одинаковых значениях  $a/h_0$ , но при разных  $M/Qh_0$ , а также при одинаковых  $M/Qh_0$ , но при разных  $a/h_0$ . На исследуемых участках консольных и однопролетных балок поперечная сила

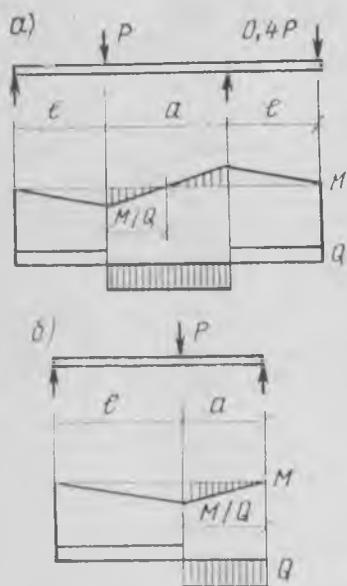


Рис. 1. Схемы испытания консольных (а) и обычных (б) балок

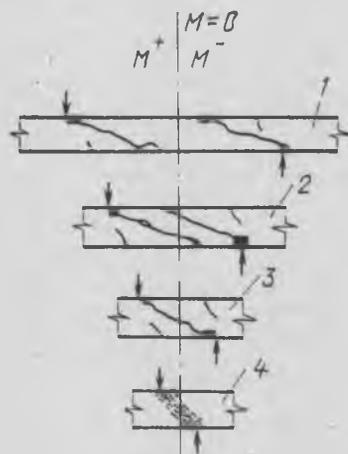


Рис. 2. Изменение форм разрушения на участке с двузначной эпюрой  $M$  с уменьшением расстояния между опорой и грузом  $a/h_0$   
1 — B-1-1; 2 — B-III-1; 3 — B-III-3;  
4 — B-III-4

была в 1,5 раза больше, чем на соседних. Соотношение между размерами  $a$  и  $l$  для консольных балок составляло:  $l = 3/4a$ ; для обычных балок  $l = 3/2a$ . Все балки были изготовлены из тяжелого бетона со средней кубиковой прочностью, близкой к 30 МПа. Образцы прямоугольного сечения  $30 \times 12$  см ( $h_0 = 27$  см) имели непрерывное симметричное продольное армирование из 4 стержней диаметром 20 мм, класса А-III ( $\sigma_t = 404$  МПа). Поперечное армирование выполнялось в виде двухветвевых хомутов с шагом 10 см из арматуры диаметром 6,7 мм класса А-I ( $\sigma_{st} = 350$  МПа).

Испытания показали, что характер третинообразования, напряженно-деформированное состояние бетона и арматуры, формы разрушения в элементах с двузначной эпюрой изгибающих моментов имеют особенности в сравнении с обычными элементами и определяются значениями  $a/h_0$  и  $M/Qh_0$ . При большой относительной длине участка с двузначной эпюрой моментов  $a/h_0$  наклонные трещины образуются и развиваются в основном в пределах зоны моментов одного знака и по одной из них в дальнейшем происходит разрушение с раздроблением бетона над вершиной наклонной трещины у груза или опоры (рис. 2). С уменьшением относительной длины  $a/h_0$  наклонные трещины переходят в зону моментов другого знака и при средних значениях  $a/h_0$  образуются

диагональная трещина, пересекающая обе зоны моментов с разными знаками. По ней происходит разрушение в результате отделения блоков балки, разделенных трещиной. При малой относительной длине  $a/h_0$  образуются короткие трещины, выделяющие наклонную бетонную полосу между грузом и опорой, по которой происходит разрушение в результате раздавливания в ней бетона. Таким образом, для элементов с двузначной эпюрой моментов можно выделить три характерные формы разрушения: по наклонной трещине, развивающейся в пределах эпюры моментов одного знака; по диагональной трещине; по сжатой наклонной полосе.

Показателем особенностей работы консольных балок является распределение осевых деформаций и усилий по длине верхней и нижней продольной арматуры на участке с двузначной эпюрой моментов в стадии, близкой к разрушению. В балках с большим относительным расстоянием  $a/h_0$  распределение усилий по длине арматуры в целом отвечает характеру эпюры изгибающих моментов, т. е. от груза до нулевой точки эпюры моментов верхняя арматура сжата, нижняя — растянута, от нулевой точки до опоры — наоборот. С уменьшением  $a/h_0$  растягивающие усилия в арматуре распространяются за нулевую точку на участок с моментами противоположного знака, где арматура должна быть сжата. При  $a/h_0 \leq 2,67$  верхняя и нижняя арматура на всем участке с двузначной эпюрой моментов становится растянутой, а при  $a/h_0 \leq 1,33$  растягивающие усилия в верхней и нижней арматуре распределяются практически равномерно по всей длине этого участка. Таким образом, фактическое распределение усилий в продольной арматуре отклоняется от усилий, определяемых характером эпюры изгибающих моментов. Это связано с развитием наклонных трещин и нарушением сцепления арматуры с бетоном.

В целом опытная несущая способность элементов с двузначной эпюрой моментов уменьшается с увеличением относительной длины «зоны среза»  $a/h_0$ , так же как и для обычных балок. Величины предельных поперечных сил для балок с двузначной и однозначной эпюрой моментов практически совпадают при малых  $a/h_0$ , с возрастанием этого отношения для элементов с двузначной эпюрой моментов  $Q^0 / R_b b h_0$  становится выше, чем для обычных (рис. 3,а). Это свидетельствует о том, что при малых расстояниях между опорой и грузом величина момента не сказывается на величине предельной поперечной силы, определяющей является только величина  $a/h_0$ . Из рис. 3,б видно, что при больших значениях  $M/Qh_0$  этот фактор является определяющим независимо от расстояния между опорой и грузом  $a/h_0$ . При средних значениях  $a/h_0$  и  $M/Qh_0$  эти факторы влияют на несущую способность совместно.

Для полученных трех характерных форм разрушения элементов был проведен анализ различных методов расчетной оценки несущей способности.

Для первой формы разрушения, по наклонной трещине в пределах зоны моментов одного знака, может быть использована расчетная модель и методика расчета для обычных балок [1].

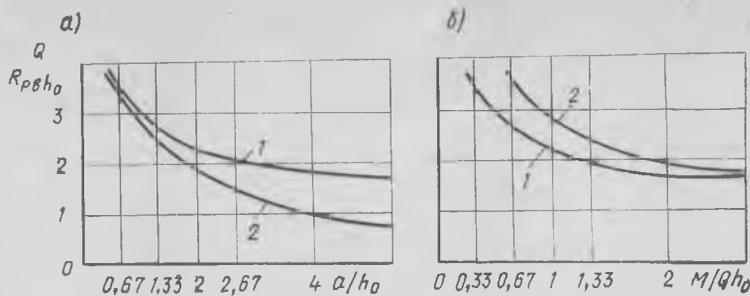


Рис. 3. Изменение предельной поперечной силы с изменением  $a/h_0$  (а) и  $M/Qh_0$  (б)  
1 — для консольных балок с хомутами; 2 — для обычных балок с хомутами

Для второй формы разрушения, по диагональной наклонной трещине, рассматривается расчетная схема, включающая осевые растягивающие и нагельные усилия в верхней и нижней продольной арматуре  $N_a$  и  $Q_a$ , пересекающей диагональную трещину, равнодействующую усилий в хомутах  $Q_x$ , а также вертикальную и горизонтальную составляющие усилия в бетоне в диагональной трещине  $Q_6$  и  $N_6$  (рис. 4,а), которые возникают в результате взаимного смещения блоков, разделенных трещиной, и обеспечивают условия равновесия внутренних и внешних сил. Предполагается, что разрушение наступает в результате достижения предельного состояния в продольной и поперечной арматуре.

Предельное состояние в арматурном стержне определяется прямоугольной сжато-растянутой эпюрой нормальных напряжений, равных пределу текучести стали  $\sigma_T$ , от действия осевой растягивающей силы  $N_a$  и изгибающего момента  $M_a$  (рис. 4,б), возникающего вследствие изгиба стержня нагельными силами  $Q_a$  на некоторой эквивалентной длине  $l_a = kd$ . Влиянием касательных напряжений в сечениях стержней пренебрегаем. В результате получаем следующее выражение для условия предельного состояния продольной арматуры:

$$\frac{4 K Q_a}{\sigma_T F_a} + \frac{N_a^2}{(\sigma_T F_a)^2} = 1. \quad (1)$$

Расчет производится исходя из уравнений равновесия продольных и поперечных сил в диагональной трещине:

$$2 N_a = N_6; \quad (2)$$

$$Q = 2 Q_a + Q_6 + Q_x. \quad (3)$$

Для решения задачи необходимо привлечь еще два уравнения. Одним из способов является использование выражений для соотношений между вертикальными и горизонтальными составляющими усилий в продольной арматуре и бетоне, которые отражают условия деформирования по диагональной трещине:

$$\frac{N_a}{Q_a} = K_a \operatorname{tg} \alpha; \quad (4)$$

$$\frac{Q_6}{N_6} = K_6 \operatorname{tg} \alpha. \quad (5)$$

Коэффициенты  $K$ ,  $K_a$ ,  $K_6$  определяются из анализа опытных данных; численные значения равны  $K=4$ ;  $K_a=6$ ;  $K_6=0,5$ .

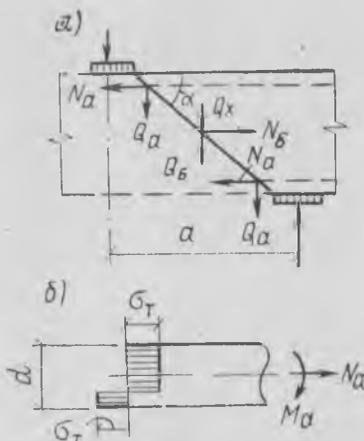


Рис. 4. Схема усилий в диагональной трещине в предельном состоянии (а) и предельное состояние стержня арматуры (б)

Вид балок	Марки балок	Средняя кубиковая прочность, МПа	$a/h_0$	$Q_{оп}$ , кН	расч $Q_{СНиП}$ , кН	расч $Q_{СНиП}$ с коррективами, кН	$Q_{расч}$ по предложению авторов, кН
С хомутами	Б-I-1	27,6	5,33	104	84,6*	84,6*	84,6*
	Б-III-1	26,4	4	98	113*	109	95
	Б-III-2	30,3	2,67	137	169,2	132,1	130,5
	Б-III-3	26,4	2	133	159,2	140	139
	Б-I-3	34,6	1,33	177	178	178	176,6
	Б-III-4	30,3	0,67	242	231	231	235
Без хомутов	Б-V-1	36	5,33	25	42,9	28,6	30
	Б-V-2	35,2	2,67	51	42,9	40	58
	Б-V-2/3	36	2	103	42,9	53,7	79
	Б-V-3	35,2	1,33	175	64,4	80,5	150
	Б-V-4	35,6	0,67	245	129	161	240

\* Случаи, когда несущая способность определялась прочностью по нормальным сечениям.

В качестве другого способа было рассмотрено определение дополнительных выражений для усилий  $N_a$  и  $Q_a$ , отвечающих максимуму несущей способности:

$$\frac{dQ}{dQ_a} = 0; \quad (6)$$

$$\frac{dQ}{dN_a} = 0. \quad (7)$$

При этом учитывалось найденное из анализа опытов отклонение равнодействующей усилий  $N_6$  и  $Q_6$  от направления наклонного сечения на угол  $\varphi = \arctg 0,9h_0/a$ . Оба эти способа дают удовлетворительные результаты.

Для третьей схемы разрушения по наклонной полосе между грузом и опорой может быть использована с некоторыми коррективами расчетная модель [2]. При этом несущая способность элемента определяется сопротивлением бетона сжатию в пределах наклонной полосы, параметры которой определяются исходя из геометрических размеров опорных площадок и расположения стержней продольной арматуры по высоте сечения.

Использование трех расчетных моделей, отражающих три основные формы разрушения элементов с двузначной эпюрой изгибающих моментов в зависимости от относительной длины  $a/h_0$ , удовлетворительно согласуется с данными опытов (см. таблицу).

Результаты исследований потребовали введения некоторых уточнений в методику главы СНиП II-21-75.

Опыты показывают, что предельная поперечная сила, воспринимаемая элементом, непрерывно уменьшается с увеличением относительной длины  $a/h_0$ . В то же время по методике СНиП расчетная величина поперечной силы вначале уменьшается с увеличением  $a/h_0$ , а после того, как величина  $a$  становится равной длине горизонтальной проекции невыгоднейшей наклонной трещины  $S_0$ , остается постоянной и равной  $Q_{x6}$ , показывая все большие отклонения от  $Q_{оп}$ . При больших значениях  $a/h_0$  несущая способность определяется расчетом по прочности нормальных сечений. При этом для элементов с двузначной эпюрой моментов, имеющих относительно меньшую величину момента при той же поперечной силе, расхождение между опытными и расчетными данными проявляется в наибольшей степени.

Для исключения таких отклонений следует сделать так, чтобы при длине  $a$ , большей чем  $S_0$ , суммарная расчетная поперечная сила, воспринимаемая хомутами и бетоном ( $Q_x + Q_6$ ), уменьшалась. Для этого принимаем при  $a > S_0$  величину  $Q_x$  постоянной и равной  $Q_x = q_x S_0$ , а величину  $Q_6$  уменьшающейся в соответствии с зависимостью СНиП,  $Q_6 = KR_p b h_0^2 / C$ . В результате будем иметь непрерывное снижение расчетной поперечной силы, отвечающее опытным данным. Такая поправка включена в проект новой редакции СНиП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гвоздев А. А., Залесов А. С. К расчету прочности наклонных сечений железобетонных элементов. — Бетон и железобетон, 1978, № 11.
- Залесов А. С., Баранова Т. И. Новый подход к расчету коротких железобетонных элементов при действии поперечных сил. — Бетон и железобетон, 1979, № 2.

# Расчет сборно-монолитных конструкций по образованию нормальных трещин с учетом неупругих деформаций

Одним из предельных состояний, обеспечивающих нормальную эксплуатацию сборно-монолитных конструкций, является трещиностойкость нормальных сечений. Существующая методика расчета [1] в основном правильно учитывает специфические особенности сборно-монолитного железобетона — двухстадийную работу конструкций, действие усилий преднапряжения лишь на часть сечения, различие в деформативных свойствах бетонов и др. Однако этот расчет базируется на предположении упругой работы бетонов сжатой зоны. Исследования последних лет показали, что неупругие деформации заметно снижают момент образования трещин в сечениях несоставных элементов. Для учета этого явления в СНиП II-21-75 вводится коэффициент 0,8 к величине ядрового расстояния  $r_y$ . В сборно-монолитных конструкциях неупругие деформации бетонов сжатой зоны могут оказывать более заметное влияние на момент образования трещин, поскольку для омоноличивания применяют, как правило, бетоны с пониженными прочностными и повышенными деформативными свойствами. Следовательно, расчет сборно-монолитных конструкций должен учитывать влияние неупругих

деформаций на момент образования трещин.

В последние годы в Курском политехническом институте проведены специальные исследования и разработан метод расчета сборно-монолитных конструкций по образованию нормальных трещин в сборных элементах, основанный на следующих предпосылках:

сечения после деформации остаются плоскими; напряжения в бетоне растянутой зоны распределены равномерно и равны  $R_{ср II}$ ;

наибольшее относительное удлинение крайнего растянутого волокна бетона сборного элемента составляет  $2R_{ср II}/E_c$ ; напряжения в бетонах сжатой зоны определяются с учетом неупругих деформаций в соответствии с идеализированной диаграммой [2];

работа растянутой зоны монолитного (необжатого) бетона не учитывается.

Суть идеализированной диаграммы состоит в том, что действительная криволинейная диаграмма  $\sigma-\epsilon$  для бетона при сжатии аппроксимирована ломаной линией. При этом предполагается, что бетон подчиняется закону Гука до напряжений, не превышающих нижней границы микротрещинообразования  $R_{\tau}^0$ . При более высоких напря-

жениях в бетоне развиваются неупругие деформации:

$$\epsilon_{\sigma} = \frac{\sigma_{\sigma}}{E_{\sigma} (1 - \lambda_{\sigma})} = \frac{1}{E_{\sigma}} [k_E \sigma_{\sigma} - R_{\tau}^0 (k_E - 1)], \quad (1)$$

где  $\lambda_{\sigma}$  — коэффициент пластичности бетона при сжатии;  $k_E$  — коэффициент, учитывающий увеличение угла наклона касательной к кривой  $\sigma_{\sigma}-\epsilon_{\sigma}$  из-за наличия неупругих деформаций.

На основе этих предпосылок составлены уравнения равновесия и уравнения совместности деформаций бетонов и арматуры (рис. 1). В результате их решения найдено значение момента, вызывающего образование трещин в растянутой зоне изгибаемых, внецентренно-сжатых или внецентренно-растянутых конструкций:

$$M_{\tau} = M_1 + \sigma_c W_0 k_y + R_{ср II} W_{\tau}, \quad (2)$$

где  $\sigma_c$  — напряжения в крайних растянутых волокнах бетона сборного элемента до приложения внешнего изгибающего момента;  $k_y$  — коэффициент, учитывающий смещение условной ядровой точки из-за неупругих деформаций бетонов сжатой зоны:

$$k_y = \frac{r_y}{r_{я}} = \frac{(J_{пр} - J_{\lambda}) F_{пр}}{(F_{пр} y_k - S_{\lambda}) W_0}$$

причем  $F_{пр}$ ,  $J_{пр}$  — площадь и момент инерции сечения, приведенного к бетону сборного элемента;  $J_{\lambda}$ ,  $S_{\lambda}$  — момент инерции и статический момент площади сжатой зоны, ограниченной участками постоянных напряжений (см. рис. 1), относительно центра тяжести приведенного сечения.

Из уравнений деформаций получим выражения для определения коэффициентов пластичности монолитного бетона  $\lambda_m$  и бетона сборного элемента  $\lambda_c$  (см. рис. 1):

$$\left. \begin{aligned} \lambda_m &= \frac{(k_{E_m} - 1) \Delta \sigma'_m}{k_{E_m} \Delta \sigma'_m + 2 R_{MT}^0}; \\ \lambda_c &= \frac{(k_{E_c} - 1) \Delta \sigma'_c}{k_{E_c} \Delta \sigma'_c + 2 (R_{CT}^0 \mp \sigma_{c0})} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Delta \sigma'_m &= (\sigma_{c0} + 2 R_{ср II}) \frac{y'_k E_m}{y_k E_c} - R_{MT}^0; \\ \Delta \sigma'_c &= (\sigma_{c0} + 2 R_{ср II}) \frac{y'_{1k}}{y_k} - R_{CT}^0 \pm \sigma_{c0}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Значения  $k_E$  и  $R_{\tau}^0$  в зависимости от марки бетона можно принимать по таблице:

Учитывая, что

$$\sigma_c = \frac{N_{1.0} z_{1.0} - M_1}{W_1} + \sigma_{сд}, \quad (5)$$

где  $W_1$  — момент сопротивления приведенного сечения сборного элемента;  $\sigma_{сд}$  — изменение напряжений в крайних растянутых волокнах сборного элемен-

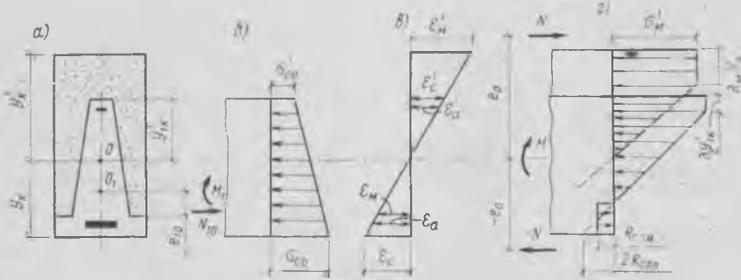


Рис. 1. Напряженное состояние сборно-монолитной конструкции

a — поперечное сечение конструкции; б — усилия и напряжения в сборном элементе при омоноличивании; в — эпюра деформаций сборно-монолитной конструкции; г — усилия и напряжения в сечении конструкции;  $O_1$  и  $O$  — центры тяжести сечений соответственно сборного элемента и всей конструкции

Величины	Марка бетона							
	100	200	300	400	500	600	700	800
$R_{\tau}^0$ , МПа .	1,3	4,2	7,8	11,7	16	20,4	25,2	30
$k_E$ . . . . .	5,2	4,25	3,55	3	2,6	2,25	1,95	1,7

та от усадки и ползучести бетонов [1], окончательно получим

$$M_T = M_1 + \left( \frac{N_{1.0} z_{1.0} - M_1}{W_1} + \sigma_{сд} \right) \times \\ \times W_0 k_y + R_{ср II} W_T. \quad (6)$$

Для изучения влияния неупругих деформаций монолитного бетона на момент образования трещин испытали 27 опытных балок (рис. 2). Все сборные элементы изготовляли из бетона марки М 700. Для омоноличивания балок использовали бетоны марок М 100—М 500.

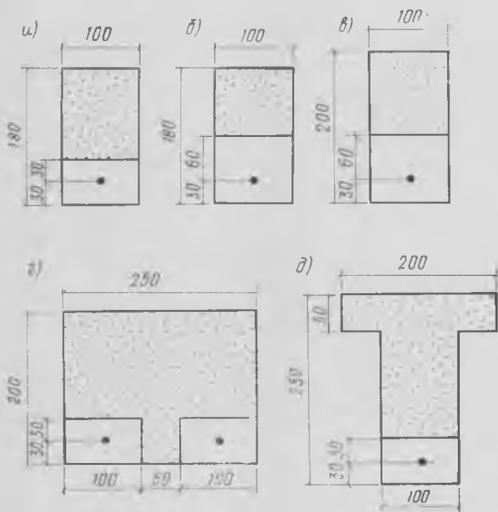


Рис. 2. Сечения опытных образцов

а — А-I, А-II, А-III, АС-II, В-I; б — В-II; в — БП-I; г — БП-II; д — БТ; арматура  $\varnothing$  15 мм К-7

Опытные значения  $M_T$  сопоставили с теоретическими, вычисленными по формуле (6). В результате установлено, что теоретические данные вполне удовлетворительно согласуются с опытными. Среднее арифметическое отклонение составило 0,5%, а среднее квадратическое — 6,9%.

### Выводы

Неупругие деформации бетонов сжатой зоны существенно снижают трещиностойкость сборно-монолитной конструкции, особенно при значительном различии прочности монолитного и сборного бетона.

Расчет сборно-монолитной конструкции должен учитывать возможность снижения трещиностойкости из-за неупругих деформаций. Расчет конструкций по образованию трещин можно производить по приведенным формулам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование и изготовление сборно-монолитных конструкций. Киев, Будівельник, 1975.
2. Полищук В. П. Об аналитическом описании процесса деформирования бетона под нагрузкой. — В сб. трудов Ростовского инженерно-строительного ин-та: Вопросы прочности, деформативности и трещиностойкости железобетона, вып. 6. Ростов-на-Дону, 1978.

## Использование промышленных отходов

УДК 691.327:691.33

В. М. МЕДВЕДЕВ, канд. техн. наук (НИИЖБ);  
А. М. СЕРГЕЕВ, канд. техн. наук  
(Днепропетровский инженерно-строительный ин-т);  
В. П. ЕМЕЦ, инж. (ПО Днепрогэжстройиндустрия)

### Применение шлаков ТЭС для улучшения качества бетонов

Многие районы страны испытывают острый недостаток природных песков, отвечающих требованиям действующих стандартов, поэтому строители вынуждены использовать очень мелкие пески с  $M_{кр} = 1,1 \dots 1,2$ . Это неизбежно ведет к перерасходу цемента и снижению качества железобетонных конструкций. В последнее время мелкие природные пески обогащают полутными продуктами и отходами производства. Рациональное использование отходов расширяет сырьевую базу строительства, снижает его стоимость и вносит вклад в решение проблемы охраны окружающей среды.

Шлаки тепловых электростанций, запасы которых исчисляются миллионами тонн, являются прекрасным сырьем для производства бетона. Они образуются из минеральной части углей, сжигаемых в пылевидном состоянии в топках котлоагрегатов.

Зерновой состав шлаков ТЭС характеризуется данными, приведенными в табл. 1, полученными при испытании шлаков раздельного удаления на Приднепровской ТЭС, работающей в основном на донецких углях марок АШ, АСШ и АРШ.

Анализом установлено, что шлаки ТЭС по зерновому составу представляют собой механическую смесь шлакового песка (крупность зерен 0,14—5 мм) и шлакового щебня (крупность зерен более 5 мм). Плотность зерен шлака, образующихся в топках котлов, агрегатов с жидким шлакоудалением, находится в основном в пределах 2,3—2,5 г/см<sup>3</sup>; дробимость зерен фракции 5—10 мм по методике ГОСТ 8269—76 составляет 20—25%, а прочность образцов-кубов с ребром 2 см, выпиленных из куска этого шлака, достигает 150—200 МПа. Таким образом, шлаки ТЭС можно применять в качестве заполнителей бетонов самых высоких марок, вплоть до М700.

Учитывая высокое значение  $M_{кр}$  шлакового песка (3,05—3,96), топливный шлак раздельного удаления целесообразно использовать в качестве компонента, улучшающего гранулометрию мелких песков.

Шлаковый песок не имеет недостатков, присущих многим видам промышленных отходов — практически не содержит лещадных и игольчатых зерен, глистых, глинистых и других вредных примесей. Некоторое количество пылевидных фракций, которое может содержать-

ся в шлаках, не ухудшая свойств бетона, заметно улучшает реологические характеристики бетонной смеси.

Практика показала, что стабильная однородность и прочность бетона могут быть получены лишь при оптимальном дозировании, учитывающем гранулометрию исходного песка и добавляемого шлака. Методика расчета состава бетона, обеспечивающего получение оптимальной гранулометрии заполнителей и повышение плотности и прочности бетона, учитывает, что в составе топливного шлака содержатся не только песчаные фракции, но и более крупные зерна, заменяющие щебень. Кроме того, плотность зерен шлака ТЭС ниже, чем традиционных заполнителей из твердых горных пород, поэтому, количество шлакового заполнителя должно быть меньше суммы масс кварцевого песка и гранитного щебня.

Перед расчетом оптимального количества вводимого в смесь шлака ТЭС, необходимо определить содержание в нем шлакового песка и шлакового щебня, зерновой состав шлакового песка и  $M_{кр}$ . Для этого навеску высушенного топливного шлака массой 1 кг пропускают через набор стандартных сит с круглыми отверстиями размером 20; 10; 5; 2,5 мм и сетками № 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 (по ГОСТ 3584—53), применяемых для определения гранулометрии заполнителей в соответствии с ГОСТ 8735—75. По остаткам на каждом сите вычисляют долю шлакового песка и шлакового щебня в процентах от общей навески;  $M_{кр}$  определяют только для мелкого заполнителя.

Для расчета оптимального количества вводимого в состав бетона топливного шлака сначала находят долю шлакового песка  $c$  в общей массе мелкого заполнителя:

$$c = \frac{2,67 - M_{кр}^п}{M_{кр}^{шп} - M_{кр}^п} \quad (1)$$

где  $M_{кр}^п$ ,  $M_{кр}^{шп}$  — модуль крупности исходного кварцевого и шлакового песка; 2,67 — величина, к которой должен приближаться  $M_{кр}$  мелкого заполнителя, полученного в результате смешивания шлакового и кварцевого песков.

Количество шлакового песка ШП, вводимого в бетонную смесь для обеспечения оптимальной гранулометрии мелкого

Таблица 1

Размер отверстий сит, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Частные остатки, %	2—10	9—24	20—37	12—36	10—20	2—11	2—11
Полные остатки, %	2—10	11—34	36—70	62—81	77—92	89—97	100

го заполнителя, находят из выражения

$$\text{ШП} - \text{Пск}, \quad (2)$$

где П — расход кварцевого песка, кг/м<sup>3</sup> бетона в исходном составе; k — поправочный коэффициент, учитывающий изменение объема при замене кварцевого песка шлаковым:

$$k = \frac{1}{1 + c \left( \frac{\rho_0^{\text{II}}}{\rho_0^{\text{III}} - 1} \right)}$$

( $\rho_0^{\text{II}}$ ,  $\rho_0^{\text{III}}$  — средняя плотность зерен кварцевого и шлакового песка).

Количество кварцевого песка П', остающегося в составе бетона после замены части его шлаковым песком, находят из выражения

$$\text{П}' = \text{П} k (1 - c). \quad (3)$$

Общий расход топливного шлака определяют по формуле

$$\text{ШТ} = \frac{100 \text{ ШП}}{100 - A_5}, \quad (4)$$

где ШП — расход шлакового песка, кг/м<sup>3</sup> бетона; A<sub>5</sub> — полный остаток на сите с отверстиями 5 мм.

Расход щебня, с учетом частичной замены его шлаковым щебнем, составит

$$\text{Щ}' = \left( \frac{\text{Щ}}{\rho_0^{\text{III}}} - \frac{\text{ЩТ} A_5}{100 \rho_0^{\text{III}}} \right) \rho_0^{\text{III}}, \quad (5)$$

где Щ — расход щебня в исходном составе, кг/м<sup>3</sup> бетона;  $\rho_0^{\text{III}}$ ,  $\rho_0^{\text{III}}$  — средняя плотность зерен гранитного и шлакового щебня;

Расход цемента в таких составах снижается и определяется при изготовлении пробных лабораторных замесов. Составы исходного (№ 1) и с применением шлака ТЭС (№ 2) бетонов, твердеющих в условиях ТВО, приведены в табл. 2. Многолетней практикой применения шлаков Приднепровской ГРЭС при изготовлении железобетонных конструкций на предприятиях ПО Днепротракториндустрия доказана целесообразность использования шлаков ТЭС в качестве компонента, улучшающего гранулометрию заполнителей. Экономия цемента при этом достигает 8—10%. В 1976—1981 гг. на заводах объединения изготовлено более 80 тыс. м<sup>3</sup> сборных железобетонных конструкций со шлаками, что позволило сэкономить около 2 тыс. т цемента. Экономический эффект при этом составил около 42 тыс. р.

Таблица 2

№ состава	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup> бетона					R <sub>сж</sub> , МПа
	цемент	щебень	песок	шлак ТЭС	вода	
1	282	1270	660	—	194	13,8/19,9*
2	252	1190	291	385	175	14,1/20,6

\* Перед чертой 1 сут; после черты — 28 сут.

Изложенная методика может быть применена также в расчетах оптимального состава бетона при использовании промышленных отходов других производств: камнедробления, ГОКов, цветной и черной металлургии и т. п.

## Долговечность

УДК 691.327:539.4

С. А. МИРОНОВ, д-р техн. наук, проф.;

О. С. ИВАНОВА, Л. Е. ЖУРАВЛЕВА, кандидаты техн. наук (НИИЖБ)

### Стойкость бетона при циклических колебаниях низких температур

В практике строительства в зимних условиях нередко конструкции, забетонированные осенью, замерзают в водонасыщенном состоянии и в дальнейшем претерпевают колебания температуры без перехода через 0°С. Такие условия эксплуатации, наиболее характерные для районов Сибири и Крайнего Севера, могут оказать разрушающее воздействие на бетон, особенно с низкой начальной прочностью. В некоторых работах [1—3] отмечалось снижение прочности при воздействии циклических отрицательных температур в естественных условиях эксплуатации, но в основном в возрасте более 1 мес.

В НИИЖБ исследовали стойкость бетона разного возраста с прочностью 60—100% марочной с добавками и без добавок при колебании температур в интервале (—20)—(—50)°С в течение 30—40 циклов. Для испытаний изготовили образцы-кубы с ребром 10 см из бетона нормального твердения (В/Ц=0,52) на среднеалюминатном воскресенском и высокоалюминатном норильском портландцементе марки М400 в возрасте 4 и 28 сут. Добавками служили комплексные сочетания воздухововлекающей добавки СНВ с пластифицирующей СДБ и противоморозной NaNO<sub>2</sub>—0,01% СНВ+ +0,25% СДБ и 0,01% СНВ+7% NaNO<sub>2</sub>.

До начала испытаний образцы 4- и 28-суточного возраста насыщали пресной водой соответственно в течение 24 и 96 ч (время насыщения входило в возраст бетона). После этого их замораживали в климатической камере НЕМА по режиму: выдерживание при —50°С, подъем температуры до —20°С, выдерживание при —20°С, снижение температуры до —50°С (2 ч каждый период). Температуру фиксировали электрическим потенциометром ЭПП-9 с помощью хромель-копелевых термопар, заложённых при бетонировании; она составляла от —(45—50) до —(15—20)°С.

Кроме обычных технологических характеристик замеряли льдистость бетона калориметрическим методом и структурные параметры по кинетике водонасыщения: λ — средний размер пор; α — однородность размера пор.

Циклические колебания температур в интервале (—20)—(—50)°С, как показали результаты эксперимента, оказали разрушающее воздействие на бетон в водонасыщенном состоянии как без добавок, так и с добавками, что указывает на снижение прочности с 7 до 25% для разных составов после 30—40 циклов испытаний. Однако введение добавок СНВ+СДБ позволило значительно ослабить деструктивные процессы. Так,

уменьшение прочности бетона даже на высокоалюминатном норильском цементе с добавкой СНВ+СДБ после 40 циклов составило всего 7%, что в 3—4 раза меньше, чем в бетонах без добавок или с СНВ+NaNO<sub>2</sub>.

Наиболее сильное разрушающее воздействие циклические колебания низких температур оказывают на менее зрелый бетон раннего возраста, несмотря на высокие прочностные показатели, достигнутые бетоном в возрасте 4 сут (25 МПа). Степень водонасыщения таких бетонов после 24-часового выдерживания в воде составила всего 0,3—0,6%, что в 2—3 раза меньше 4-суточного водонасыщения бетонов в возрасте 28 сут. Следовательно, опасность разрушения бетонов раннего возраста с высокой естественной влажностью от циклических колебаний отрицательных температур следует учитывать даже при небольшом водонасыщении, которое может возникнуть при продолжительных осенних дождях.

Развитие деструктивных процессов при циклических колебаниях низких температур в основном происходит в результате различия коэффициентов линейного расширения компонентов бетона, а также миграции и перераспределения влаги в бетоне. Преобладающим фактором разрушения, по-видимому, является миграция влаги из «тонких» пор, температура заморозания которых ниже —20°С в более крупные благодаря более низкой свободной энергии льда [4]. Подтверждением этого предположения служат заступающий характер снижения прочности бетона в процессе испытаний и большее снижение прочности бетона при введении противоморозной добавки NaNO<sub>2</sub>, понижающей температуру заморозания жидкой фазы в бетоне. По-видимому, противоморозные добавки, способствуя уменьшению льдистости бетона, создают более благоприятные условия для миграции незамерзающей влаги в бетоне.

При эксплуатации бетонных конструкций в зоне переменного уровня или слоя сезонного промерзания в вечномёрзлых грунтах усилению деструктивных процессов способствует также повышение степени водонасыщения бетона при миграции влаги из зоны с более высокой температурой [5].

Значительное влияние на стойкость бетонов при циклических колебаниях отрицательных температур оказывает вид цемента, что подтверждается увеличением снижения прочности бетонов всех исследованных составов на норильском цементе на 5—10% по сравнению с бетоном на среднеалюминатном цементе.

Известно, что колебания температур без перехода через 0°C сменяются переменным замораживанием и оттаиванием в весенний период, поэтому для приближения лабораторных испытаний к работе бетона в натуральных условиях часть образцов, прошедших 30 циклов испытаний при (-20—50)°С, испытали на морозостойкость по ускоренной методике при температуре -50°C по ГОСТ 10060-76. Все составы испытывали на морозостойкость до 30 циклов (Мрз 200), поскольку, не имея аналогичных опытных данных, трудно было предположить в какой степени циклические колебания отрицательных температур влияют на долговечность бетона.

Результаты этих экспериментов дополнили и уточнили полученные данные по изменению прочности бетона на сжатие. Так, по изменению прочности бетона без добавок 4- и 28-суточного возраста ( $R_{сж}$  79 и 100% марочной) трудно было судить в каком случае произошло больше необратимых нарушений в структуре бетона. Испытания на морозостойкость показали, что бетон в возрасте 4 и 28 сут после 30 циклов имел коэффициенты морозостойкости  $K_{Мрз}$ , близкие к 0,35 и 0,39, тогда как морозостойкость бетона нормального твердения без добавок в возрасте 28 сут. оказалась почти в 3 раза выше, чем в возрасте 4 сут. Эти данные убедительно свидетельствуют, что, несмотря на близкие по величине потери прочности (10,2

и 12,2%), больше необратимых нарушений в структуре происходит в бетоне с большим водонасыщением и меньшим объемом «тонких» пор.

Введение добавки СНВ+СДБ при воздухововлечении 2,8% повысило и дальнейшую морозостойкость бетона. Это заметнее проявилось у 4-суточного бетона (начальная прочность до испытаний на циклические колебания отрицательных температур 76% марочной) с более низкой степенью водонасыщения и меньшим объемом «тонких» пор, т. е. отмечалась та же закономерность, что и у бетона без добавок.

Комплексные добавки СНВ+NaNO<sub>2</sub> способствовали повышению морозостойкости по сравнению с бетоном без добавок, в основном бетона в возрасте 28 сут. В то же время бетон с такой добавкой, подвергнутый предварительному циклическому 30-кратному замораживанию, почти в 2 раза снизил морозостойкость по сравнению с таким же составом нормального твердения. Увеличение количества незамерзающей влаги в бетоне даже при наличии плотной тонкопористой структуры и водонасыщения, в 2—3 раза меньшем максимального, вызывает усиление деструктивных процессов, наиболее чувствительной характеристикой которых является морозостойкость бетона.

### Выводы

Экспериментами установлено, что циклические колебания температур в интер-

вале (-20)—(-50)°С вызывают снижение прочности до 25% и морозостойкости бетона в 1,5—2 раза в зависимости от степени водонасыщения, минералогического состава цемента, вида и количества химических добавок.

Проведенные исследования показали необходимость учета циклических отрицательных температур без перехода через 0°C при назначении марки бетона по морозостойкости.

Введение комплексных добавок СНВ+СДБ и СНВ+NaNO<sub>2</sub> повышает морозостойкость бетона, подвергнувшегося циклическому воздействию отрицательных температур.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре/В. М. Москвин, М. М. Капкин, Б. М. Мазур и др. М., Стройиздат, 1967.
2. Губонин Н. Н., Каган В. М., Пинус Б. И. Длительное влияние отрицательных температур на прочность бетонов высоких марок. — Бетон и железобетон, 1968, № 11.
3. Каган В. М. Влияние влажности и условий твердения бетона на его стойкость при циклическом воздействии низких температур. — Бетон и железобетон, 1974, № 11.
4. Плят Ш. Н., Кац А. С. Исследование влияния степени водонасыщения и структуры порового пространства на механические свойства бетонов при отрицательных температурах. Л., Известия ВНИИГ, 1969, вып. 90.
5. Терехин Ю. Н. Температурно-влажностный режим работы массивного бетона в зимних условиях в районах с суровым климатом. — В сб. трудов координационных совещаний по гидротехнике. Л., Известия ВНИИГ, 1973, вып. 78.

УДК 691.327:666.9.015.423

М. Ф. ТИХОМИРОВА, канд. техн. наук (Уралпромстройинипроект)

## Агрессивность сульфатных растворов в зависимости от вида катиона

Быстрое развитие производств металлов повлекло за собой значительное увеличение объема конструкций, подверженных агрессивным воздействиям.

В различных отраслях промышленности широко применяют сульфаты меди, никеля, цинка, натрия, алюминия, кадмия и других металлов. Однако при оценке агрессивности сульфатных растворов относительно бетона конструкций по СНиП II-28-73\* «Защита строительных конструкций от коррозии» учитывается лишь содержание сульфат-иона, а роль катиона во внимание не принимается [1].

Нами было изучено влияние вида катиона на коррозионную активность растворов сульфатов металлов, широко используемых в промышленности и содержащихся в природных водах, относительно цементного камня. Исследовались сульфаты меди, никеля, цинка, натрия, магния, железа, марганца, кобальта, кадмия, алюминия, бериллия

при концентрации растворов 3; 5; 10 и 25 г/л по SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Агрессивность растворов сульфатов определяли по скорости и глубине проникания сульфат-иона, по изменению прочности цементного камня. Для исследования новообразований в системе Ca(OH)<sub>2</sub>—MeSO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O применялись методы химического, петрографического и рентгеноструктурного анализов. В работе использовался сульфатостойкий порландцемент.

Зависимость агрессивности сульфатов от свойств катионов следует рассматривать как многофакторную. В ее основе лежат особенности строения атомов, которые обуславливают отличие свойств соединений вследствие разных значений степени окисления, поляризуемости, способности металлов к комплексообразованию и др., результатом чего и является изменение характера взаимодействия сульфатов металлов с цементным камнем [2]. Следует отметить, что

растворы сульфатов металлов содержат компоненты, которые могут вызвать коррозию трех видов.

Анализ показал, что основными продуктами взаимодействия сульфатов металлов с цементным камнем являются гидроксиды металлов, гидросульфаты (при наличии металлов, способных к комплексообразованию), гидросульфалюминаты кальция (ГСАК) и гипс. Эти соединения фиксируются в глубине образцов и на их поверхностях, где образуют пленки различной структуры толщиной от несколько мк до нескольких мм.

Послойное содержание сульфат-иона в пленке продуктов коррозии и в цементно-песчаных образцах, хранившихся 1 год в растворах сульфатов металлов при концентрации 10 г/л по SO<sub>4</sub>, показано в табл. 1. Пленку продуктов коррозии снимали скальпелем с поверхности образцов, а пробы из образцов отбирали без учета поверхностной пленки на наждачном круге на глубине до 0,5 мм, затем на глубине от 0,5 до 1 мм и от 1 до 2 мм.

Коэффициент стойкости  $K_{ст}$  определяли как отношение прочности на изгиб цементно-песчаных (1:3, В/Ц = 0,6) призм размером 1×1×6 см из агрессивных растворов к прочности образцов-близнецов, хранившихся в воде (табл. 2).

Таблица 1

Раствор сульфата	Содержание $SO_4^{2-}$ в %				Среднее содержание $SO_4^{2-}$ в слое толщиной 2 мм
	Поверхностная пленка продуктов коррозии, мм	На глубине, мм			
		до 0,5	0,5—1	1—2	
Zn <sup>2+</sup>	12,71	4,23	4,22	4,44	4,36
Cd <sup>2+</sup>	11,71	4,54	4,17	3,62	4,11
Co <sup>2+</sup>	14,54	4,23	3,51	3,5	3,74
Cu <sup>2+</sup>	11,4	5,47	4,56	3,82	4,61
Ni <sup>2+</sup>	12,78	6,78	4,81	4,14	5,24
Mg <sup>2+</sup>	2,28	5,18	5,22	4,81	5,07
Na <sup>+</sup>	1,29	2,24	4,19	4,21	3,54
Mn <sup>2+</sup>	4,27	5,84	5,86	5,19	5,63
Fe <sup>2+</sup>	17,05	6,12	4,75	4,93	5,26
Be <sup>2+</sup>	41,77	12,68	9,86	8,18	10,24
Al <sup>3+</sup>	34,09	12,02	10,25	8,14	10,13

Данные табл. 2 убедительно показывают зависимость агрессивности сульфатного раствора от вида катиона, которая наблюдается для растворов всех концентраций. По степени агрессивности растворы сульфатов можно разделить на три группы, последнюю можно представить 2 подгруппами.

По количеству сульфат-иона, проникшего в цементно-песчаные образцы, растворы солей можно объединить в те

же группы, что и при анализе данных по  $K_{ст}$ . Среднее содержание сульфат-иона в слое толщиной до 2 мм в образцах, хранившихся в наиболее агрессивных растворах сульфатов бериллия и алюминия, составило 10,24—10,13%, в то же время в образцах из наименее агрессивных растворов содержание  $SO_4^{2-}$  оказалось в 2,5 раза ниже.

Особое внимание следует обратить на значение pH сульфатного раствора. Из табл. 2 видно, что оно колеблется в значительных пределах в зависимости от вида катиона. Безусловно, pH влияет на состав новообразований и их устойчивость, а следовательно, и на стойкость цементного камня. Известно, что гидросульфалоюминаты не образуются в кислой среде, а начало осаждения и строение гидроксидов и гидросульфатов металлов зависит от pH маточного раствора.

Вместе с тем у образцов, хранившихся в растворах ряда сульфатов металлов, не наблюдалось корреляционной зависимости коррозионной стойкости от величины pH. Так, сульфаты меди и кадмия при концентрации 10 г/л  $SO_4^{2-}$  с pH = 4,5—4,6 по степени агрессивности резко отличаются от растворов сульфатов железа с практически одинаковым pH = 4,4. В то же время сульфаты кадмия, кобальта, цинка и

меди, pH которых колеблется от 4,5 до 5,9 (концентрация 10 г/л  $SO_4^{2-}$ ), обладают одинаковой степенью агрессивности и заметной меньшей, чем сульфаты никеля и магния, pH которых выше 6.

При определении скорости разрушения образцов в токе агрессивных растворов по методике НИИЖБа, когда величина pH практически не менялась, получены аналогичные данные по скорости коррозии. Они показывают, что pH не определяет однозначно степень агрессивности растворов сульфатов металлов. И даже для сульфатов алюминия и бериллия с самыми низкими значениями pH при определении степени агрессивности следует учитывать также и содержание сульфат-иона. Так, если оценить степень агрессивности сульфатов марганца, бериллия и алюминия с концентрацией 5 г/л по  $SO_4^{2-}$  для бетонов особой плотности по величине pH как среднеагрессивную, то те же растворы по содержанию  $SO_4^{2-}$  окажутся сильноагрессивными, так как скорость разрушения в этих сульфатах в 2—3 раза выше, чем в сульфатах магния и натрия, на которые в основном ориентированы существующие нормы, и предельное содержание сульфат-иона для этих растворов должно быть уменьшено соответственно не менее чем в 2 раза. Это связано, очевидно, с тем, что при воздействии сульфатов металлов на цементный камень происходит не только кислотная и сульфатная коррозия, но и непосредственное взаимодействие ионов-металлов с составляющими цементного камня, например, Ca(OH)<sub>2</sub>, а также возможны реакции ионного обмена и выщелачивания. Влияние на эти процессы свойств катионов проявляется не только через величину pH растворов сульфатов, но через состав и структуру новообразований.

В связи с этим нормирование степени агрессивности сульфатов металлов только по содержанию сульфат-иона или pH воды—среды является недостаточным.

Для учета влияния вида катиона на степень агрессивности сульфатного раствора целесообразно ввести поправочные коэффициенты. В табл. 2 приведена величина таких коэффициентов, определенная по соотношению средних по группам коэффициентов стойкости образцов, хранившихся в сульфатных растворах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М., Стройиздат, 1980.
2. Тихомирова М. Ф. Зависимость агрессивности растворов сульфатов от положения металла в периодической системе элементов. — Журнал прикладной химии, 1979, № 7.

Таблица 2

Раствор сульфата	Концентрация растворов, мг/л, по $SO_4^{2-}$								Группа по агрессивности и поправочный коэффициент
	3000		5000		10000		25000		
	pH	$K_{ст}$ 56 сут $K_{ст}$ 6 мес	pH	$K_{ст}$ 56 сут	pH	$K_{ст}$ 56 сут $K_{ст}$ 6 мес	pH	$K_{ст}$ 14 сут $K_{ст}$ 56 сут	
Кобальта	4,3	— 0,98	—	1,03	5,9	1,2 0,99	3,26	1,4 1,29	I $K=1,3$
Кадмия	5,8	— 0,92	6,1	1,33	4,6	1,1 1,03	5,9	1,29 1,22	
Цинка	5,7	1 0,93	5,1	1,14	5,6	1,14 0,96	4,6	1,01 1,08	
Меди	4,55	1,08 1,01	4,5	1,11	4,5	1,07 —	3,7	1,2 0,8	
Никеля	6,2	0,93 0,83	4,9	0,88	6,3	0,76 0,5	5,35	0,98 0	II $K=1$
Магния	6,65	0,92 0,8	6,1	0,89	6,1	0,77 0,52	5,7	1,06 0,15	
Натрия	6,1	0,94 0,86	6,4	0,82	5,5	0,8 0,55	5,15	1,13 0,16	
Марганца	4,65	0,63 0,65	4,5	0,43	4,4	0,28 0,15	4,3	0,57 0,1	IIIa $K=0,4$
Железа	4	0,86 0,64	3,3	0,68	3,5	0,38 0,36	2,9	—	
Алюминия	2,45	0,89 0,56	2,3	0,28	2,75	0,08 0,16	1,4	0,24 0	IIIб $K=0,1$
Бериллия	3,65	0,94 0,66	3	—	2,85	0,14 0,28	2,45	—	

## Совещание по гидратации и твердению цемента

Во Львове в сентябре 1981 г. комиссия по гидратации, структурообразованию и твердению цемента Научно-координационного совета Госстроя СССР провела совместно с ВХО им. Д. И. Менделеева, Львовским политехническим институтом и Львовским Домом техники НТО четвертое Всесоюзное совещание. В его работе участвовало более 200 специалистов и 78 организаций различных городов Советского Союза.

На совещании широко обсуждались результаты исследований гидратации, структурообразования и твердения цемента, возможности внедрения в производство наиболее перспективных из законченных работ, ведущие направления на 1981—1985 и 1990 гг. и координация исследований. В настоящее время комиссия по гидратации, структурообразованию и твердению координирует деятельность 39 научно-исследовательских, производственных организаций и вузов страны.

Оргкомитетом заблаговременно опубликованы тезисы 220 докладов и сообщений\*. Все доклады разделены по тематике на 16 групп. В них ведущими специалистами освещено состояние данной проблемы в мире, а также поставлены дискуссионные вопросы.

В основном докладе проф. С. А. Миронова отмечалась важность внедрения результатов исследовательских работ в производство, необходимость сосредоточения усилий ученых на экономии энергетических и трудовых ресурсов, комплексное использование сырья и побочных продуктов, наращивание выпуска прогрессивных материалов и изделий, внедрение в практику экономических методов тепловой обработки бетонов и перспективных добавок к ним. Было указано, что оптимальным решением является выпуск особобыстротвердеющих цемента, применение которых позволит вначале частично, а затем полностью отказаться от тепловой обработки бетона. Для строительства в сложных климатических условиях Крайнего Севера и сухого жаркого климата необходимы быстротвердеющие бетоны на соответствующих цементах. В связи с этим интересны исследования и опыт применения алюмоферритового цемента, обеспечивающего твердение бетона при отрицательных температурах (разработан во Львовском политехническом институте).

\* Гидратация и твердение вяжущих. Тезисы докладов и сообщений IV Всесоюзного совещания. Львов, Львовский политехнический ин-т. 1981.

Обобщающие доклады посвящены таким актуальным вопросам, как кристаллохимические, химические, физические и физико-химические аспекты формирования структуры прочного цементного камня и особенности протекания деструктивных процессов в нем; термодинамика и кинетика структурообразования и твердения минеральных вяжущих веществ, методы исследования этих процессов, гидратация и твердение расширяющихся, пуццолановых, шлаковых, зольных и специальных цементах (особобыстротвердеющих, алиментовых, сульфалоюминатного типа и декоративных), твердение вяжущих веществ при их гидротермальной обработке, влияние различных технологических факторов на процессы твердения цемента, механизм действия на них добавок и других способов активации процессов структурообразования при твердении минеральных вяжущих материалов, формирование структуры цементного камня, армированного асбестом и стекловолокном.

Участники совещания отметили что, несмотря на большое число исследований по гидратации, структурообразованию и твердению вяжущих материалов, до сих пор не выработаны общепринятые теоретические положения, отсутствует единая терминология по гидратационному твердению вяжущих материалов. Для изучения процессов гидратационного твердения вяжущих необходимо более широко привлекать новейшие методы исследований (электронную спектроскопию, термоллюминесценцию, инфракрасную спектроскопию и др.) для разработки способов управления гидратацией. Следует развернуть работы по созданию, совершенствованию и строгому теоретическому обоснованию экспериментальных методов измерения свойств и структуры материалов и других методов исследования.

В результате работы совещания установлены тесные связи между различными организациями, определены наиболее перспективные направления дальнейшего развития научно-исследовательских и опытно-промышленных работ по гидратации и структурообразованию цемента.

В постановлении совещания рекомендуется сосредоточить внимание ученых на наиболее подготовленных для внедрения в практику строительства работах, способствовать внедрению результатов законченных исследований, повышению качества цемента, разработать методы их контроля в условиях завод-

ских лабораторий, продолжать работы по активации процессов твердения цемента и получению материалов с заданными свойствами.

Участники совещания ознакомились с лабораториями Львовского политехнического института и предприятиями Львова и области.

Принято решение провести следующий Всесоюзный совещание по гидратации и твердению цемента в 1984 г. в Риге, а ежегодно организовывать координационные совещания (в 1982 г. в Ленинграде и Чимкенте).

**В. Б. РАТИНОВ**, д-р хим. наук;  
**И. И. КУРБАТОВА**, канд. хим. наук;  
**З. М. ЛАРИОНОВА**, канд. техн. наук

## Читательская конференция в Минске

В ноябре 1981 г. Белорусские советы содействия Стройиздату и журналу «Бетон и железобетон» провели в Минске очередную читательскую конференцию.

Главный редактор журнала «Бетон и железобетон» д-р техн. наук, проф. К. В. Михайлов в своем сообщении подвел итоги деятельности редколлегии журнала, сделал критический обзор статей, представляемых белорусскими специалистами, рассказал о перспективах и дальнейшей технической направленности журнала, изложил основные требования к публикуемым статьям.

С отчетным докладом о работе Белорусского совета содействия журналу выступил председатель совета, чл.-корр. АН БССР, д-р техн. наук, проф. И. Н. Ахвердов.

В обсуждении технической направленности публикуемых статей приняли участие ведущие специалисты вузов, научно-исследовательских институтов, проектных и производственных организаций республики. С предложениями, заслуживающими особого внимания, выступили д-р техн. наук Л. К. Лукша, кандидаты техн. наук Н. П. Блещик и Т. М. Пецольд, инженеры В. В. Печковский и А. Н. Кац.

Конференция избрала новый состав совета содействия по Белорусской ССР, публикуемый в настоящем номере журнала.

УДК 691.327+693.54

## Популярная книга о бетоне

Райхель В., Глатте Р. **Бетон**. В 2х ч. Ч. 2. Изготовление. Производство работ. Твердение/Пер. с нем. Л. А. Феднера; Под ред. В. Б. Ратинова. — М., Стройиздат, 1981. — 112 с., ил.

Часть II книги «Бетон» является логическим продолжением сведений, содержащихся в части I. В ней популярно рассказывается о различных этапах производства бетонных работ, создании специальных условий, определяющих кинетику изменения прочности бетонов в бетонных и железобетонных конструкциях и сооружениях.

Большое внимание в книге уделено вопросам хранения заполнителей и цемента, их дозирования и приготовления бетонной смеси. Выявлено влияние этих факторов на водопотребность бетонной смеси и строительно-технические свойства бетона. Особенно подробно рассмотрены способы хранения и дозирования заполнителей в зимний период. Показано, что на современных бетонных заводах применяют отопляемые склады закрытого типа, а смерзшиеся комья заполнителей перед дозированием отбирают промежуточным ситом. Складируется

заполнитель по фракциям, причем высота штабелей ограничена для исключения его расслоения. На складе цемента имеется информационная доска с подробной характеристикой цемента.

В главе 3 следовало подробнее рассмотреть способы паросмещения и многофазного смешивания составляющих бетонную смесь материалов.

Авторы книги много внимания уделили транспортированию бетонной смеси, показали, как избежать расслоения смеси при различных способах ее транспортирования, привели ориентировочные значения продолжительности транспортирования в зависимости от температуры, вида смеси и транспортных средств. Последнее имеет практическое значение для правильной организации бетонных работ.

В главе 4 «Формование» показаны факторы, влияющие на выбор оборудования для уплотнения бетонных смесей.

Подробно рассмотрены способы вибрирования бетонных смесей, приводятся данные о связи между консистенцией смеси и способами ее уплотнения. В книге хорошо изложены различные способы и средства для вибрирования бетонных смесей и механизмы для их уплотнения, уделено внимание специальным приемам и средствам уплотнения (торкрет-бетон, вакуум-бетон).

Практическое значение имеет материал, изложенный в главе 5 «Твердение бетона и уход за ним». Здесь рассмотрены факторы, влияющие на кинетику роста прочности бетона: вид цемента и его активность, состав бетонной смеси, температура, влажность.

Интересен физический смысл понятия «зрелость» бетона (правило Зауля). По зависимости между прочностью и степенью зрелости бетона удается оценивать интенсивность нарастания его прочности при различных температурах окружающей среды. Большое место в этом разделе отведено рассмотрению вопросов, связанных с пропариванием бетона. Показано влияние вида цемента на твердение бетона при пропаривании, приводятся различные режимы тепло-влажностной обработки и технологические мероприятия по интенсификации и сокращению сроков пропаривания.

Книга «Бетон», часть II хорошо иллюстрирована, лаконична по изложению, содержит много полезного справочного материала и дает представление о том, какое развитие получило производство бетонных работ в ГДР. Ее можно рекомендовать широкому кругу строителей, технологам-бетонщикам, работникам цементной промышленности, а также учащимся и тем, кто самостоятельно изучает вопросы, связанные с технологией бетона.

К. П. ДЕЛЛОС, проф.



На ВДНХ СССР

УДК 691.87-427

## Несварные арматурные сетки

В объединенных павильонах «Строительство» на ВДНХ представлены несварные арматурные сетки. Они разработаны для железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях низких температур, не допускающих использования сетки с применением электросварки. Такие сетки целесообразно применять и в других климатических зонах, когда в качестве рабочих стержней используется термоупрочненная и упрочненная вытяжкой арматурная сталь.

Несварные арматурные сетки обладают повышенной (по сравнению с ручной вязкой) жесткостью, устойчивостью

и анкерующей способностью. Это объясняется тем, что продольные стержни (косвенная арматура) располагаются друг против друга по обе стороны от поперечных (рабочих) стержней, а в промежутках между рабочими стержнями закручены продольные стержни в направлении, параллельном осям поперечных стержней.

Минтрансстрой принял к внедрению арматурные несварные сетки для сооружения железобетонных мостовых конструкций северного исполнения, для эксплуатации при  $t = -40^{\circ}\text{C}$  и ниже. ЦНИИС провел исследования по опре-

делению параметров и расчетных величин сеток, выявлена их сцепляемость с бетоном.

ЦЭКБ ЦНИИОМТП разработана машина для механизированного изготовления арматурных сеток. Машина позволяет изготавливать сетки шириной 2800 и длиной 4500 мм при диаметре рабочих стержней от 8 до 22 мм и шаге их 100, 150, 200 и 250 мм. Диаметр продольной арматуры 6 мм, а шаг ее предусмотрен 200 и 250 мм.

Использование такой машины позволяет снизить расход арматурной стали на 10—15%, экономический эффект составит ежегодно около 30 тыс. р.

УДК 691.328:69.055:620.9.004.18  
Коротков С. Н. Пути экономии энергоресурсов при производстве железобетона. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 2—3  
Рассматриваются пути экономии энергоресурсов, методика определения резервов и первоочередные задачи их реализации в производстве железобетона. Список лит.: 5 назв.

УДК 693.547.14.002.5.003.1  
Левский С. Е., Беккер Л. Н., Цесельский М. М. Экономичные пропарочные камеры ямного типа. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 6—7  
Проанализированы различные конструктивные варианты экономичных ямных пропарочных камер, обобщен опыт их эксплуатации на различных заводах, изложены основные принципы проектирования камер ямного типа с пониженным расходом тепловой энергии. Ил. 1, табл. 1.

УДК 691.328:69.055:620.9.004.18  
Фоломеев А. А. Вопросы нормирования энергозатрат при производстве сборного железобетона. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 9—11  
Рассматриваются вопросы нормирования энергозатрат при производстве сборного железобетона и приводятся рекомендации по показателям учета расходования энергетических ресурсов.

УДК 691.327:69.055.621.1  
Тепловлажностная обработка изделий в продуктах сгорания природного газа/К. Э. Горьяинов, А. Н. Счастный, Е. И. Сленокуров и др. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 11—12  
Приведены результаты экспериментальных исследований и внедрения в промышленности нового способа тепловлажностной обработки тяжелых и легких бетонов в среде продуктов сгорания природного газа, позволяющего уменьшить расход природного газа с 60 до 10—15 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> бетона при одновременном снижении себестоимости ТВО. Ил. 1, табл. 1, список лит.: 2 назв.

УДК 691.327:539.4  
Аояги Ю., Самойленко В. Н. Работа изгибаемых элементов при действии низких температур. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 19—21  
Приведены результаты испытаний статически определимых железобетонных элементов, выполненных в Японии, и анализа экспериментальных данных с использованием метода расчета, принятого в СССР.

Исследовано влияние на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов кратковременного охлаждения до —60 и —120°С, различного процента армирования, диаметра арматуры и наличия равномерного продольного обжатия. Ил. 3, табл. 1, список лит.: 4 назв.

УДК 691.327:666.973.5:539.376  
Александровский С. В. Получность и особенности работы автоклавных ячеистых бетонов в условиях Крайнего Севера. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 21—23  
Сообщены результаты исследования особенностей поведения автоклавных ячеистых бетонов при замораживании и статистической обработки экспериментальных данных об их получности. Даны рекомендации по обеспечению долговечности наружных ограждающих конструкций из этих бетонов. Табл. 4, ил. 3.

УДК 691.327:666.973.5  
Чернов А. Н. Вариатропный ячеистый бетон переменной прочностности. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 25—26  
Рассматривается целесообразность изготовления вариатропных ячеистобетонных элементов, характеризующихся направленной неоднородностью плотности. Показано, что переход от однородных конструкций к вариатропным позволит снизить толщину и массу элементов, расход материалов (включая арматуру), а также повысить теплозащитные свойства изделий.

УДК 691.54(—197)  
Бубелов В. В., Паршенцев Н. В., Никулн И. В. Уровнемер для емкостей длительного хранения цемента. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 26—27  
Описаны конструкция и принцип действия простого и надежного устройства для измерения уровня цемента в емкостях длительного хранения. Надежность уровнемера обеспечивается простотой конструкции непосредственно поплавковой системы, опускаемой в емкость. Значительно уменьшена опасность заваливания поплавка обрушивающимся материалом, так как поплавок в исходном положении всегда находится на верхнем предельном для материала уровне. Ил. 1.

УДК 69.057.3  
Опыт применения замкнутых строповочных петель/Э. Г. Ратц, Г. Б. Гольдинберг, М. Б. Каплан, Е. М. Рабинович. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 27—28  
Описан опыт внедрения замкнутых строповочных петель на заводах ЖБИ Главмоспромстройматериалов с применением специального высокопроизводительного станка. Решение вопроса механизации изготовления замкнутых петель позволяет широко применять их в разнообразных железобетонных конструкциях и получить значительную экономию арматурной стали. Ил. 2, список лит.: 3 назв.

УДК 69.025:69.057.7:621.867  
Корнюшин Г. М. Универсальная конвейерная линия для производства несущих панелей перекрытий. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 28  
Технологическая линия представляет собой вертикально-горизонтально-замкнутый конвейер с тремя целевыми камерами, расположенными ниже уровня пола. Линия размещена в пролете 18 м и предназначена для изготовления многопустотных и сплошных панелей для акустически однородных перекрытий.

УДК 691.022—413:691.327:666.973.5  
Холопова Л. И., Веселова С. И. Цветной гранулированный материал для отделки стеновых панелей из ячеистого бетона. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 29—30  
Изложены результаты исследований по получению цветных гранул для отделки панелей из пенобетона в условиях Салаватского завода КПД. Даны рекомендации по организации заводской технологии и приведен экономический эффект от их применения для отделки жилых домов серии III-108. Ил. 2.

УДК 691.327:693.546.42  
Брауде Ф. Г., Осмаков С. А., Голубенков В. А. Виброударное формирование изделий из песчаных бетонов. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 30—31  
Использование виброударных формовочных машин на предприятиях сборного железобетона позволяет изготавливать изделия из жестких песчаных бетонов без перерасхода цемента в сравнении с бетонами на щебне при обычном уплотнении. Ил. 4, табл. 1, список лит.: 2 назв.

УДК 624.012.4:624.92  
Возведение монолитных конструкций без применения опалубки/Р. В. Воронков, А. И. Маврин, В. В. Родионова, Н. И. Баторевич. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 32—34  
Описывается новая технология возведения монолитных железобетонных подколонников и стен с применением арматурно-опалубочных блоков, включающих в себя рабочую арматуру и одновременно являющихся опалубочной формой. Показаны особенности технологии возведения конструкций, даны рекомендации по проектированию армоопалубочных блоков и приведены некоторые технико-экономические показатели. Ил. 4.

УДК 624.072.2:691.87:693.554  
Крылов С. М., Майлян Л. Р. Влияние распределения арматуры на свойства неразрезных балок. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 36—37  
Приводятся результаты экспериментального исследования работы неразрезных железобетонных балок с высокопрочной преднапряженной и ненапрягаемой арматурой. Показано, что прогибы и ширина раскрытия трещин в эксплуатационных стадиях работы незначительно зависят от распределения арматуры в пределах  $F_{a,оп}/F_{a,пр} = 0,7..2$ .

Определены границы рационального соотношения опорной и пролетной арматуры, при которых общий расход стали минимален. Ил. 2.

УДК 624.072.2:539.4  
Гвоздев А. А., Залесов А. С., Зиганшин Х. А. Прочность элементов с двузначной опорой моментов на действие поперечных сил. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 38—39  
Описаны исследования консольных и обычных однопролетных балок с поперечным армированием и без него при разных расстояниях между опорой и грузом и разных соотношениях величин максимального изгибающего момента и поперечной силы ( $a/h_0 = 0,67 - 5,33$ ;  $M/Qh_0 = 0,33 - 2,67$ ). Выявлены особенности их трещинообразования, напряженно-деформированного состояния, форм разрушения элементов с двузначной опорой моментов по сравнению с обычными балками.

Установлено влияние на несущую способность по наклонным сечениям расстояния между опорой и грузом и величины максимального изгибающего момента. Предлагаются методы расчета элементов с двузначной опорой моментов при действии поперечных сил, а также необходимые коррективы в метод расчета прочности по наклонным сечениям СНиП II-21-75. Табл. 1, ил. 4, список лит.: 2 назв.

УДК 624.012.4:624.93  
Полищук В. П. Расчет сборно-монолитных конструкций по образованию нормальных трещин с учетом неупругих деформаций. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 40—41  
Предложен способ расчета по образованию нормальных трещин изгибаемых, внецентренно-сжатых и внецентренно-растянутых сборно-монолитных конструкций со сборными преднапряженными элементами. Показано совпадение опытных данных с результатами расчета. Отмечено существенное влияние неупругих деформаций бетонов сжатой зоны на трещиностойкость преднапряженных сборных элементов, входящих в сечение сборно-монолитной конструкции. Ил. 2, табл. 1, список лит.: 2 назв.

УДК 691.327:691.33  
Медведев В. М., Сергеев А. М., Емец В. П. Применение шлаков ТЭС для улучшения качества бетона. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 41—42  
Приведена методика использования шлаков ТЭС раздельного удаления в тяжелых бетонах. Добавка шлака вместо части песка и мелкого щебня дает экономии цемента 8—10%. Методика может быть полезна при использовании отходов камнедробления, шлаков черной и цветной металлургии. Табл. 2.

УДК 691.327:539.4  
Мионов С. А., Иванова О. С., Журавлева Л. Е. Стойкость бетона при циклических колебаниях низких температур. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 42—43  
Приведены экспериментальные данные влияния температур в интервале (—20) — (—50)°С без перехода через 0°С на прочность и последующую морозостойкость бетонов с разной прочностью без добавок и с добавками СНВ+СДБ и СНВ+NaNO<sub>2</sub>. Сделан вывод о снижении прочности на 10—25% и уменьшении морозостойкости в 1,5—2 раза в зависимости от степени водонасыщения, вида цемента и льдистости бетона после 30—40 циклов циклических колебаний низких температур. Список лит.: 5 назв.

УДК 691.327:666.9.015.423  
Тихомирова М. Ф. Агрессивность сульфатных растворов в зависимости от вида катиона. — Бетон и железобетон, 1982, № 3, с. 43—44  
Степень агрессивности технологических выбросов растворов сульфатов различных металлов — меди, никеля, алюминия, цинка и других относительно бетонных и железобетонных конструкций различна. Агрессивность сульфатных растворов предлагается оценивать с учетом вида катиона путем введения в действующую главу СНиП II-28-73\* «Защита строительных конструкций от коррозии» поправочных коэффициентов. Табл. 2, список лит.: 2 назв.

## CONTENTS

*Korotkov S. N.* Ways of economy in reinforced concrete production

*Objeshchenko G. A.* Reserves of economy of thermal energy in precast reinforced concrete production

*Lensky S. E., Bekker L. N., Tseselsky M. M.* Economical steam curing cameras of bunker type

*Malinina L. A.* Decrease in energy expenditure by rational selection of cements

*Folomeev A. A.* Problems of rate setting of energy expenditure in precast reinforced concrete production

*Gorjainov K. E., Schastnyi A. N., Slepokourov E. I., Pinson E. B., Kostenko B. I.* Moist steam curing of units in combustion products of natural gas

*Lagojda A. V.* Injection of admixtures — way to reduction of energy expenditure

*Shulman F. R.* Optimization of production regimes and thermal energy consumption

*Senchev V. G.* Raising the effectiveness of energy use in reinforced concrete production

*Aojagi Yu., Samoilenko V. N.* Work of bending elements under action of low temperatures

*Alexandrovsky S. V.* Creer and work: peculiarities of autoclave cellular concrete in conditions of extreme north

*Kurambaev B.* Improvement of concrete properties by means of plasticizers in conditions of dry hot climate

*Chernov A. N.* Variotropic cellular concrete of variable density

*Kornjushin G. M.* Universal conveyer line of floor bearing panels production

*Bubelo V. V., Parshentsev N. V., Nikulin I. V.* Level gauge for capacities for long storage of cement

*Voronkov R. V., Mavrin A. I., Rodionova V. V., Batorevich N. I.* Erection of cast — in — situ structures without application of forms

*Danilov N. N., Naumov S. M., Gasanov K. A.* Conductive heating of concrete mix in technology of winter works

*Krylov S. M., Mailjan L. R.* Influence of reinforcement distribution on properties of continuous beams

*Gvozdev A. A., Zalesov A. S., Ziganshin Kh. A.* Strength of members with two — digit eures of moments on lateral forces action

*Polishchuk V. P.* Calculation of precast and cast-in-situ structures on normal cracks formation with regard to nonelectric strains

## CONTENU

*Korotkov S. N.* Les voies de l'économie des ressources énergétiques pendant la production du béton armé

*Objeshchenko G. A.* Les réserves de l'économie thermique pendant la production du béton armé préfabrique

*Lensky S. E., Bekker L. N., Tsecelsky M. M.* Les chambres d'étuvage économiques du type «trou»

*Malinina L. A.* La diminution des dépenses énergétiques par le choix rationnel des ciments

*Pholomeev A. A.* Les problèmes de réglementation des dépenses énergétiques pendant la production du béton armé préfabrique

*Gorjainov K. E., Stchastny A. N., Slepokourov E. I., Pinson E. B., Kostenko B. I.* Le traitement par le chauffage dans la vapeur des pièces dans les produits de brûlage du gaz naturel

*Lagojda A. V.* L'introduction des adjuvants — la voie pour diminuer les dépenses énergétiques

*Choulman Ph. P.* L'optimisation des régimes de production et de consommation de l'énergie thermique

*Senchev V. G.* Élévation d'efficacité de l'utilisation de l'énergie pendant la production du béton armé

*Aojagi Yu., Samoilenko V. N.* Le service des éléments sollicités en flexion sous l'action des températures au-dessous de zéro

*Alexandrovsky S. V.* Le fluage et les particularités de service des bétons autoclaves cellulaires dans les conditions du Nord Extrême

*Kourambaev B.* Le perfectionnement des propriétés du béton dans les conditions du climat sec et chaud à l'aide des plastifiants

*Tchernov A. N.* Le béton variotrope cellulaire de densité variable Kornuchine G. M. La chaîne universelle de production pour la fabrication des panneaux portants des recouvrements

*Boubelo V. V., Parchentsev N. V., Nikouline I. V.* Indicateur de niveau pour les réservoirs utilisés pour conserver longtemps les ciments

*Voronkov R. V., Mavrine A. I., Rodionova V. V., Batorevitch N. I.* L'élevation des structures monolithes sans application de coffrage

*Danilov N. N., Naoumov S. M., Gassanov K. A.* Le chauffage conductif du béton frais dans la technologie des travaux pendant l'hiver

*Krylov S. M., Mailjan R. L.* L'influence de la distribution des armatures sur les propriétés des poutres continues

## INHALT

*S. N. Korotkov.* Mittel zur Einsparung des energetischen Aufwandes bei Eisenbetonherstellung

*G. A. Objeshchenko.* Möglichkeiten zur Einsparung der Wärmeenergie bei Herstellung von Stahlbetonfertigteilen

*S. E. Lenskj, L. N. Bekker, M. M. Zseselskj.* Grubenartige wirtschaftliche Kammern zur Dampferhärtung

*L. A. Malinina.* Verringerung des energetischen Aufwandes durch zweckmäßige Wahl der einzusetzenden Zemente

*A. A. Felomjev.* Fragen der Normierung für energetischen Aufwand bei Herstellung von Stahlbetonfertigteilen

*K. E. Gorjainov, A. N. Stschastij, E. I. Slepokourov, E. B. Pinsson, B. I. Kostenko.* Wärmefeuchtigkeitsbehandlung von Erzeugnissen in Erdgasverbrennungsprodukten

*A. V. Lagojda.* Einführung von Zusätzen als Mittel zur Verringerung des energetischen Aufwandes

*F. P. Schulman.* Optimierung der Betriebsweisen und des Wärmeverbrauches

*V. G. Ssentschev.* Mittel zum effektiven energetischen Verbrauch bei Eisenbeton-

*J. Aojagi, V. N. Ssamojlenko.* Beanspruchung von Biegeelementen unter Einwirkung niedriger Temperaturen

*S. B. Alexandrovskij.* Kriechen und Beanspruchungsbesonderheiten bei Autoklavzellenbetonen unter Bedingungen des hohen Nordens

*B. Kurambajev.* Verbesserung der Betoneigenschaften durch Plastifikatoren beim Einsatz im heißen trockenen Klima

*A. N. Tschernov.* Variotroper Zellenbeton veränderlicher Dichte

*G. M. Kornjushin.* Vielfachverwendbare Förderstrasse für Herstellung von tragenden Deckenplatten

*V. V. Bubelo, N. V. Parschentzen, I. V. Nikulin.* Füllstandmesser bei Behältern für längere Zementlagerung

*R. V. Voronkov, A. I. Mavrin, V. V. Rodionova, N. I. Batorovitsch.* Schalungslöse Errichtung von Ortbetonbauten

*N. N. Danilov, S. M. Naumov, K. A. Gasanov.* Erwärmung des Betongemisches durch Ausnutzung der Wärmeleitfähigkeit unter Bedingungen des Winterbaues

*S. M. Krylov, L. R. Mailjan.* Beeinflussung der Durchlaufträgereigenschaften durch Bewehrungsverteilung

*A. A. Gvozdev, A. S. Salessov, H. A. Ziganschin.* Festigkeit bei Elementen mit Binärzeichen — Momentlinie gegen Querkraftwirkungen

Редакционная коллегия: И. Н. Ахвердов, Ю. М. Баженов, В. Н. Байков, А. И. Буракас, А. С. Векшин, Ю. В. Волконский, А. А. Гвоздев, А. М. Горшков, П. А. Деменюк, В. Т. Ильин, Н. М. Колоколов, М. Г. Костиюковский, В. В. Михайлов, К. В. Михайлов (главный редактор), В. М. Москвин, Д. А. Паньковский, В. С. Подлесных, Б. Я. Рискинд, С. И. Сименко, В. В. Судаков, Д. М. Чудновский, А. А. Шлыков (зам. главного редактора)

Технический редактор Сангурова Е. Л.

Корректор Стигнеева О. В.

Сдано в набор 13.01.82  
Формат 60×90<sup>1/8</sup>  
Тираж 14805 экз.

Печать высокая

Подписано в печать 05.02.82.

Усл. печ. л. 6,0

Усл. кр.-отт. 6,75

T-03164

Уч.-изд. л. 8,95  
Заказ 6

Адрес редакции:  
101442, ГСН. Москва, К-6, Каляевская, 23а  
Тел. 258-18-54, 258-24-76

Подольский филиал производственного объединения «Периодика» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

№ 815231. Я. Д. Зенгин, И. А. Сауткин, Е. Н. Рогачев и др. Донецкий Промстройинипроект. Устройство контроля к установке для регулирования положения скользящей опалубки.

№ 815233. Б. А. Руль, М. В. Вшивков и Н. С. Середина. Красноярск-ГЭСстрой. Устройство для уплотнения бетонных смесей преимущественно в массиве.

№ 815236. А. Н. Савицкий, Н. М. Васильев и В. И. Елисеев. НИИЖБ. Способ усиления изгибаемого железобетонного элемента.

№ 815303. Ю. С. Канунников, В. В. Щепин и В. П. Кващнин. Гидроспецпроект. Гаситель скорости движения бетонной смеси при возведении монолитной крепи.

№ 815307. В. Т. Глушко, И. Г. Великий, И. Г. Хнюпа и др. Установка для приготовления и набрызга бетонной смеси.

№ 13

№ 819287. Ю. С. Гуревич и С. Ю. Цейтлин. Московский завод ЖБИ № 18 и НИЛ ФХММ и ТП Железобетонная стойка.

№ 14

№ 821665. В. Д. Иваненко. Предварительно напряженный пространственный строительный элемент.

№ 821667. Г. Г. Базилия, Р. М. Эбралидзе и А. Н. Джавахидзе. Тбилисский филиал ин-та Оргэнергострой. Стык предварительно напряженных арматурных элементов.

№ 821669. А. И. Пижов, Б. А. Глухов, Б. А. Крылов и др. Куйбышевский инженерно-строительный ин-т. Опалубочный щит.

№ 821670. Л. И. Боровский, И. Н. Авачев, Б. С. Межевников и др. УДН им. П. Лумумбы. Домкратная рама скользящей опалубки.

№ 821671. А. О. Саакян, Р. О. Саакян и С. Х. Шахназарян. ПЭКТИ Минпромстроя АрмССР. Способ возведения здания методом подъема этажей и перекрытий.

№ 821672. В. М. Меламед, Г. Л. Зелликман и И. В. Беллавин. ЦНИИПИ типового и экспериментального проектирования зрелищных, спортивных и административных зданий и сооружений. Многоэтажное сейсмостойкое здание.

№ 15

№ 823496. Л. И. Новиков. Наголовник забивной железобетонной сваи.

№ 823519. В. А. Максимова и Н. Н. Никонов. ГлавАПУ г. Москвы. Сборный железобетонный каркас.

№ 823525. В. Г. Житушкин, И. М. Судьбинин, Ю. М. Линьков и Д. К. Арленинов. Южный зональный проектный и научно-исследовательский ин-т сельского строительства и ЦНИИСК. Покрытие.

№ 823526. В. В. Коноваленко, П. П. Скурский, А. В. Морозов и В. Т. Дячок. СКБ с опытным производством стеклопластиков. Ин-та механики АН УССР. Многослойная ячеистая панель.

№ 823529. А. Ф. Туликов, В. М. Гдалевич и Г. Д. Фролов. Опытное производственно-техническое предприятие Энерготехпром. Стык арматурных элементов.

№ 823536. В. Л. Рычка, Я. Д. Зенгин, Г. И. Гескин и О. В. Сазонова. Донецкий Промстройинипроект. Скользящая опалубка.

№ 823538. В. Г. Минаев и В. Я. Кудла. Свердловский филиал ин-та Индустройпроект. Устройство для замоноличивания стыков.

№ 823539. И. А. Слащилин, Ф. П. Сорокоумов, В. Н. Шестаков и др. Устройство для плавного отпуска натяжения арматуры.

№ 823540. И. М. Конусов. Устройство для предварительного натяжения арматуры.

№ 823541. Н. А. Бринь, В. А. Волохов, М. А. Капуста и др. Киевский филиал КТБ Стройиндустрия. Устройство для закрепления продольных стержней.

№ 823542. О. М. Луниг, Н. В. Зуб, Я. Б. Гейцер и В. Х. Канделарис. Способ предварительного напряжения арматуры при изготовлении железобетонных плит.

№ 823543. А. А. Федоров и И. В. Китанин. Ростовский-на-Дону НИИ Академии коммунального хозяйства. Стойка опалубки перекрытия.

№ 823589. В. Н. Рева, Л. К. Нейман, О. И. Мельников и др. ВНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела. Устройство для возведения из армированного набрызгбетона.

№ 17

№ 827675. Н. А. Лях, Е. А. Богатов, В. И. Анацкий и Н. В. Баранов. Украинский НИИ гидротехники и мелиорации. Устройство для герметизации швов в свежееуложенном бетонном перекрытии.

№ 827682. Я. М. Бобровский, С. Д. Янчак, Г. А. Скорлин и М. И. Смородинов. НИИ основной и подземных сооружений. Составная свая.

№ 827717. В. В. Зубков. Московский архитектурный ин-т. Сборная куполообразная оболочка.

№ 827718. В. Г. Темнов. ЛенЗНИИЭП. Пространственное покрытие.

№ 827721. Б. М. Джурицкий, М. Я. Туллер, С. Н. Каневский и др. Оргэнергострой и ЦНИИПроект-стальконструкция. Панель ограждения.

№ 827726. А. И. Мордич, А. С. Мацкевич, Н. В. Матлаков и И. С. Черненко. Белорусский дорожный НИИ научно-производственно-объединения Дорстройтехника. Железобетонный элемент.

№ 827732. В. А. Атанесян. Ереванский политехнический ин-т. Объемно-переставная опалубка для бетонирования стен и перекрытий.

№ 18

№ 829833. Н. Н. Пантелеев. Новосибирский инженерно-строительный ин-т. Стыковое соединение ригеля с колонной железобетонного каркаса здания.

№ 829838. Г. В. Леонтьев. Куйбышевский инженерно-строительный ин-т. Железобетонная балка.

№ 20

№ 834322. В. В. Суриг. Уральский научно-исследовательский и проектный ин-т строительных материалов. Арматурный элемент для железобетонных конструкций.

№ 834326. А. В. Козько. КТБ Стройиндустрия. Способ фиксации плоских арматурных каркасов.

№ 21

№ 836270. Ю. Н. Высоцкий и Г. Э. Бруг. Омский ф-л ин-та Союздорнии. Стыковое соединение плит сборного покрытия.

№ 836304. У. Фазылов, К. Зуфаров, Ю. Ф. Шум и С. А. Ходжаев. ТашЗНИИЭП. Железобетонная плита для скатных безрулонных сборных крыш.

№ 836310. А. И. Аронов и Н. А. Полиновская. СибЗНИИЭП. Стеновая панель.

№ 836311. В. М. Чемерис, А. А. Омельченко, Б. С. Золотарев и А. В. Иванов. Киевпроект. Панель покрытия.

№ 836313. О. И. Бозов. Киевское отделение Теплоэлектропроекта. Устройство для фиксации навивки предварительно напряженной арматуры.

№ 836319. В. С. Лахтин, В. Г. Куцелалов и Б. В. Фадин. Оргэнергострой. Опалубка для бетонирования наклонных и криволинейных граней гидротехнических сооружений.

№ 836320. П. Д. Зубарев, З. В. Додосьян и С. Д. Вишневский. Донецкий ф-л ин-та Атомэнергостройпроект. Подвижная опалубка.

№ 22

№ 837991. А. В. Болотный, Л. А. Мамаев и В. П. Птичников. ЛИСИ. Заглаживающая машина.

№ 837992. Н. И. Лысенко, Е. А. Богатов и И. Ф. Котляр. УкрНИИГиМ. Устройство для герметизации швов в бетонных покрытиях.

№ 837993. В. И. Баловнев, А. Б. Ермилов, Ю. П. Бакатин и С. П. Тихонов. МАДИ. Способ заделки дефектных мест цементобетонных покрытий.

№ 838000. Г. И. Восковщук, Ю. И. Янько, А. А. Жолтикова и Э. И. Мулюков. НИИ промышленного строительства. Установка для приготовления и инъектирования растворов.

№ 838003. К. С. Гурков, Н. Г. Назаров, Е. Н. Чередников и др. Ин-т горного дела Сибирского отделения АН СССР. Способ изготовления набивной армированной сваи.

№ 838022. В. Е. Сно и О. О. Проценко. Центральный научно-исследовательский и проектный ин-т типового и экспериментального проектирования зданий торговли, общественного питания, бытового обслуживания и туристских комплексов. Стыковое соединение

\* Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1981.

вертикальных и горизонтальных строительных элементов.  
 № 838023. Ю. П. Булыгин, Челябинский Промстройинипроект. Стыковое соединение железобетонной плиты с ребром.  
 № 838024. А. Я. Эпп, Г. И. Меншикова и Р. И. Худолей. Урал-промстройинипроект. Стыковое соединение железобетонных стропильных элементов.  
 № 838025. В. С. Дормидонтов, И. И. Педченко и А. В. Павалов. Кишиневский политехнический ин-т и Кишиневский опытно-экспериментальный ДСК. Закладная деталь.  
 № 838026. Ю. А. Чаруйский и А. П. Зарудский. МНИИТЭП. Узел опирания пространственного симметричного покрытия здания и сооружений.  
 № 838027. М. В. Калугин, Б. И. Широков, А. А. Сметанин и И. А. Костикова. Узловое соединение стержней пространственного каркаса.  
 № 838036. Н. П. Иванов и Е. Н. Иванова. ПИ-2. Оболочка покрытия зданий и сооружений.

№ 838037. А. О. Абрамян. Пространственное покрытие.  
 № 838040. М. М. Пономарев С. З. Вайнштейн, Л. Н. Пицкель и В. Г. Артюхов. ЦНИИСК. Строительная панель.  
 № 838041. Г. С. Кобринский, Л. Х. Циммерманис, Р. Л. Романов и В. С. Коган. Латвийский научно-исследовательский и экспериментально-технологический ин-т строительства. Многослойный строительный элемент.  
 № 838042. В. И. Редькин, Д. Д. Работягов и В. М. Сурдин. Центральный научно-исследовательский и проектно-технологический ин-т механизации и электрификации животноводства Южной зоны СССР. Предварительно напряженная балка.  
 № 838049. П. Ф. Казятин, А. А. Пау и Б. Я. Рыскинд. Челябинский Промстройинипроект. Устройство для поперечной подачи арматурных стержней.  
 № 838050. М. И. Айбулатов. Куйбышевский инженерно-строительный ин-т. Арматурный каркас железобетонных изделий типа балок.

№ 838056. В. А. Максимов и В. А. Чигирев. Ин-т по организации механизации и оказанию технической помощи строительству. Установка для перемешивания и подачи раствора.  
 № 838066. А. Е. Козлов, Л. И. Телсенко и П. Н. Амелин. Мостоотряд 12 Мостостроительного треста № 1 Главмосстроя. Передвижная опалубка для замоноличивания стыков железобетонных плит блоков пролетных стропильных.  
 № 838067. В. Е. Тройнин и П. А. Цыков. ПИ Воронежколхозпроект. Устройство для замоноличивания стыков сборных элементов типа колонн.  
 № 838069. В. А. Дрозд, Н. Ф. Лисский, В. А. Архипов и В. С. Носик. Установка для подачи бетонных смесей.  
 № 838070. С. Н. Гонтарев и П. И. Сидоров. Механизм натяжения устройства для навивки арматуры.  
 № 838074. Г. А. Гамбаров, М. Б. Гитлевич, Э. М. Фейгин и др. НИИЖБ. Здание.

## Состав совета содействия журналу «Бетон и железобетон» по Белорусской ССР

- Ахвердов И. Н.** — председатель, заведующий кафедрой Белорусского политехнического института;  
**Блещик Н. П.** — зам. председателя, заместитель директора ИСиА Госстроя БССР;  
**Верстак А. И.** — заместитель министра сельского строительства БССР;  
**Заровкина Н. С.** — заместитель начальника технического управления Минпромстроя БССР;  
**Залогов В. Ф.** — заместитель директора ИСиА Госстроя БССР;  
**Коршун Л. И.** — ректор Брестского инженерно-строительного института;  
**Ласточкин В. Г.** — заместитель председателя Госстроя БССР;  
**Лукша Л. К.** — профессор Белорусского технологического института;  
**Печковский В. В.** — заместитель главного инженера Белпромпроекта;  
**Пецольд Т. М.** — секретарь, заведующий кафедрой Белорусского политехнического института;  
**Погребняк Т. А.** — начальник главного управления строительной индустрии Минпромстроя БССР;  
**Мадалинский Г. А.** — главный инженер Минскпроекта;  
**Семенов А. И.** — заведующий кафедрой Новополоцкого политехнического института;  
**Телеш А. М.** — главный инженер Белгоспроекта