

01

14 Дек 1998

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ

УДК 624.012.4:666.972.165

ПАРФЕНОВА ЛЮДМИЛА МИХАЙЛОВНА

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ
УСЛОВИЯХ**

05.23.08 -Технология и организация промышленного
и гражданского строительства

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук**

Новополоцк - 1998

Работа выполнена на кафедре строительного производства Полоцкого государственного университета.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
БЛЕЩИК Н.П.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, доцент
БОБКО Ф.А.,
кандидат технических наук, доцент
РАТУШНЫЙ Г.С.

Оппонирующая организация - государственное предприятие Научно-исследовательский и проектно-технологический институт строительной индустрии

Защита состоится « 23 » декабря 1998 г. в 15⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д.02.05.05 при Белорусской государственной политехнической академии по адресу: 220027, г.Минск, проспект Скорины 65, к.1, ауд. 202, телефон ученого секретаря 263-67-64.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусской государственной политехнической академии.

Автореферат разослан « _____ » _____ 1998 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций



С.П.Баранов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Республика Беларусь лишь на 10% обеспечена собственными топливно-энергетическими ресурсами. Дефицит электрической энергии на конец 1991 года составлял более 2 млн. киловатт. Положение усугубляется и тем, что стоимость топлива и энергии постоянно растет.

Как свидетельствует мировая практика, единственный выход в данной ситуации - это энергосбережение во всех сферах народного хозяйства, в том числе и в строительстве, где в больших количествах расходуется тепловая и электрическая энергия, особенно в зимний период.

На разогрев бетонных смесей и выдерживание железобетонных конструкций при положительных температурах, что делается для достижения бетоном распалубочной и критической прочности, расходуется около 0,2 Гкал/м³ тепловой энергии. Разработка беспрогревных и малоэнергоемких технологий возведения железобетонных конструкций в зимних условиях стало одной из актуальных проблем.

Обеспечить достижение необходимых прочностей бетона при значительно сокращенных расходах тепловой и электрической энергии можно за счет применения химических модификаторов бетона. Как показано в работах, вводимые в незначительных количествах - десятых и сотых долях процента по массе цемента, - они существенно влияют на химические процессы твердения бетона, обеспечивают повышение его механических и улучшение комплекса физико-технических свойств, в том числе плотности, водонепроницаемости, морозостойкости, коррозионной стойкости и других.

Именно этим объясняется то, что во всем мире объем применения бетона с добавками постоянно растет. В ряде стран практически весь выпускаемый бетон изготавливается с применением добавок различного вида.

Применяемые в настоящее время добавки суперпластификаторы (С-3, НИЛ-10, ЛСТ), ускорители твердения (хлорид кальция, поташ и другие) изготавливаются из дефицитного сырья, что делает их дорогостоящими и тем самым сдерживает их внедрение.

В последние годы усилия ученых были направлены на поиск доступных, недефицитных добавок и разработку на их основе малоэнергоемких технологий изготовления монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций.

Внимание привлекла работа, проводимая Полоцким государственным университетом совместно с институтом БелНИИС, результатом которой явилось создание пластифицирующей добавки на основе сырьевой базы ПО «Полимир». Добавка получила название смола пиролиза сульфированная (СПС). Практический интерес представляют также исследования свойств полимеризованной воды, являющейся природным концентрированным рассолом или вторичным продуктом при добыче нефти в Гомельской области. Предварительные исследования показали, что полиметаллические водные концентраты

(ПВК) содержат большое количество микроэлементов. Основные из них - хлор, натрий, кальций, калий, магний - являются эффективными катализаторами гидратации цемента и способны понижать температуру замерзания воды.

В этой связи исследования, направленные на повышение эффективности технологии производства бетонных работ в зимний период за счет применения местных добавок к бетону, являются весьма актуальными.

Связь работы с крупными программами, темами. Работа выполнялась при разработке темы Минстройархитектуры Республики Беларусь «Исследовать, разработать и внедрить модифицированные составы и энерго-сберегающие технологии изготовления железобетонных конструкций в различных температурных условиях с применением полиметаллических водных концентратов (ПВК)» (№ ГР 1997239) в период с 1997 по 1998 г.

Целью работы являлись исследования физико-механических свойств бетонов, модифицированных добавками СПС и ПВК, и разработка энергосберегающих режимов возведения монолитных железобетонных конструкций в зимних условиях. Для достижения поставленной цели решен ряд задач, основными из которых являлись:

- изучение влияния суперпластификатора СПС и комплексной добавки СПС+ПВК на подвижность и расплывчатую прочность бетонов;
- исследование кинетики набора прочности бетона, модифицированного добавками ПВК и комплексом добавок СПС+ПВК, при отрицательных температурах окружающей среды («холодный» бетон);
- разработка рекомендаций по определению составов и режимов выдерживания бетонов, модифицированных добавкой СПС+ПВК, при отрицательных температурах окружающей среды;
- разработка методики определения составов и режимов выдерживания модифицированных бетонов.

Научную новизну работы составляют:

- закономерности, характеризующие влияние добавки СПС на свойства бетонной смеси и бетона;
- закономерности, отражающие воздействие добавок ПВК и СПС+ПВК на кинетику твердения бетонов при отрицательных температурах окружающей среды;
- экспериментальные данные и модели прочности модифицированного бетона в зависимости от методов выдерживания бетона и продолжительности твердения в заданном температурном режиме;
- методика определения составов и режимов выдерживания модифицированного бетона.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанные на основе теоретических и экспериментальных исследований рекомендации по определению составов и режимов выдерживания модифицированных бетонов при отрицательных температурах окружающей среды позволяют организовать производство бетонных работ в зимних условиях по энергосберегающим режимам, обеспечивающим существенное снижение энергетических затрат.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Экспериментальные данные о физико-механических свойствах бетонов, модифицированных добавкой СПС и СПС+ПВК.

2. Экспериментальные данные о кинетике набора прочности бетона, модифицированного добавками ПВК, СПС и СПС+ПВК, при различных режимах выдерживания.

3. Методика определения составов и режимов выдерживания модифицированного бетона в зимних условиях.

Личный вклад соискателя. Диссертация представляет самостоятельный труд автора, выполненный на кафедре строительного производства Полоцкого государственного университета и в лаборатории модифицированного бетона института БелНИИС.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на:

- международной 52-й научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БГПА «Технические вузы - республике», г.Минск, 1997 г.;

- первом научно-методическом межвузовском семинаре «Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений», г.Минск, 1997 г.;

- второй межвузовской научно-технической конференции «Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений», г.Брест, 1998 г.

Опубликованность результатов. Основные положения диссертации и результаты исследований опубликованы в шести печатных работах.

Результаты работы прошли опытно-промышленную проверку при строительстве II очереди центральной части Северного вокзала г.Минска, 9-ти этажного гаража-стоянки г.Москвы, II очереди Красносельского цементного комбината на объекте «Силосные склады цемента», при возведении опытного хранилища по захоронению токсичных отходов жирокombината и 72-квартирного жилого дома в г.Гомеле, изготовлении железобетонных конструкций в условиях завода ЖБИ треста №22 г.Полоцка.

Объем работы. Диссертация состоит из общей характеристики работы, четырех глав, заключения, приложений. Она содержит 191 страницу, 21 рисунок, 39 таблиц, 7 приложений, список использованных источников из 90 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ результатов многочисленных исследований и отмечен большой вклад отечественных ученых А.С.Арбеньева, И.Н.Ахвердова, И.И.Богатырева, М.В.Вавилова, И.А.Киреевко, Б.А.Крылова, А.В.Лагойды, В.С.Лукьянова, С.А.Миронова, Б.Г.Скрамтаева, В.Н.Сизова,

С.В.Шестоперова, А.А.Шишкина в разработку методов зимнего бетонирования.

Проанализированы современные методы производства строительных работ в зимних условиях. Отмечено, что наиболее распространенными являются: электродный прогрев, метод «термоса» и метод «холодного» бетона. Обращено внимание на то, что в условиях роста цен на электроэнергию и другие виды топлива требуется создание беспрогревных и малозергоемких технологий возведения монолитных железобетонных конструкций.

Среди известных способов менее энергосемким и наиболее эффективным является интенсификация процессов твердения бетона за счет применения химических модификаторов. Использование бетонов с противоморозными добавками в 1,2-1,4 раза экономичнее, чем способ паропрогрева и прогрева в тепляках и в 1,3-1,5 раза экономичнее электропрогрева и электрооборера. При этом наиболее эффективными являются добавки, включающие суперпластификаторы и ускорители твердения, обеспечивающие улучшение удобоукладываемости бетонной смеси и ускоренное твердение бетона в ранние сроки, в том числе и в зимних условиях.

В связи с появлением в Республике Беларусь добавок в бетон - суперпластификатора СПС и ускорителя твердения с противоморозным эффектом - полиметаллического водного концентрата (ПВК) обосновывается необходимость проведения исследований свойств модифицированных бетонов и разработки беспрогревных и малозергоемких технологических режимов возведения монолитных железобетонных конструкций в холодный период года.

Во второй главе приведены характеристики материалов, применяемых в исследованиях, а также методика исследований. Используемые методы испытаний регламентированы действующими стандартами и инструкциями. Для изучения влияния комплексной добавки в бетон на его прочность в зависимости от влияющих факторов (расход цемента, подвижность бетонной смеси по осадке конуса, температура выдерживания) использован метод математического планирования эксперимента. Представлены обоснования выбора плана эксперимента, а также основные положения статистической обработки экспериментальных данных.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований влияния добавок в бетон - пластификатора СПС, ускорителя твердения ПВК и их комплекса - на свойства бетонной смеси и бетона при различных режимах выдерживания.

На первом этапе исследований были выполнены эксперименты по изучению физико-механических свойств цементного теста с добавкой СПС и комплексом добавок СПС и ПВК.

В ходе исследований влияния добавок на водопотребность цементного теста, определяемую по изменению коэффициента нормальной плотности, было установлено, что комплекс добавок СПС и ПВК обеспечивает снижение водосодержания на 5-8%, что в 1,8-2 раза меньше, чем при введении однокомпонентной добавки СПС. Снижение пластифицирующей способности СПС в комплексе с ПВК, по-видимому, происходит в результате того, что добавка

ПВК, будучи электролитом, повышает поверхностное натяжение воды, вследствие этого для достижения в бетонной смеси, модифицированной комплексом добавок СПС+ПВК, пластифицирующего эффекта, равнозначного получаемому при введении добавки СПС, требуется большее количество воды затворения или должна быть увеличена дозировка добавки СПС.

Исследования сроков схватывания портландцемента показали, что введение добавки СПС приводит к их отдалению. Так, введение СПС в количестве 1,2% от массы цемента (МЦ) отодвигает начало схватывания с 4 ч 20 мин (бездобавочный состав) до 5 ч 01 мин. При этом время интенсивного структурообразования уменьшается при увеличении количества добавки с 1 ч 49 мин (бездобавочный состав) до 1 ч 09 мин при вводе добавки в количестве 1,2% от МЦ, до 1 ч 05 мин - при вводе добавки в количестве 1,4%, до 1 ч 02 мин - при вводе добавки в количестве 1,6%.

Исследование кинетики набора прочности модифицированного цементного камня показало, что добавка СПС при условии приготовления цементного камня из цементного теста нормальной густоты обеспечивает интенсивный рост прочности в первые и вторые сутки твердения с увеличением прочности по сравнению с бездобавочными образцами в первые сутки на 30%, во вторые - на 13-19%. Добавка СПС+ПВК в начальные сроки дает меньший прирост прочности по сравнению с добавкой СПС в 1,15-1,2 раза, а в возрасте 7 и 28 суток образцы с добавкой СПС+ПВК набрали наибольшую прочность: на 9-15% выше прочности бездобавочных образцов в возрасте 28 сут, и на 2-6% выше прочности цементного камня модифицированного добавкой СПС.

Исследования кинетики набора прочности модифицированного бетона проводились как в нормально-влажностных условиях, так и в условиях воздействия различных положительных и отрицательных температур. За базовый (контрольный) был принят бетон без добавок, характеристика составов которого приведена в табл. 1.

Таблица 1

Базовые составы бетонных смесей

Шифр состава	Расход материалов, кг/м ³				В/Ц	О.К., см	$R_{28}^{н.т.}$, МПа
	Цемент	Песок	Щебень	Вода			
1	230	785	1200	184	0,80	2-4	20,25
2	320	720	1185	175	0,55		35,03
3	410	645	1170	176	0,43		44,75
4	500	570	1155	180	0,36		49,13

В исследованиях применялся цемент ПЦ500-Д0 ОАО «Волковысскцементошифер» активностью 49,2 МПа, Микашевичский щебень фракции 5-20 мм, песок карьера «Боровое» с модулем крупности $M_k=2,17$.

Исследование влияния добавки СПС на подвижность бетонных смесей выполняли по ГОСТ 10181-81, оценивая величину осадки конуса бетонных смесей с одинаковым начальным водосодержанием без добавки и с добавкой.

Результаты проведенного эксперимента представлены в табл. 2, из которой следует, что оптимальная дозировка СПС во многом определяется расходом цемента в бетонной смеси. Так, при расходах 410, 320, 230 кг/м³ она соответственно составила 1,1; 1,2; 1,3% от МЦ, что аналитически может быть представлено в виде линейной зависимости

$$m_g = 1,56 - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot Ц, \quad (1)$$

где m_g - содержание модификатора в процентах от массы цемента;

$Ц$ - содержание цемента в бетоне, кг/м³.

Таблица 2
Влияние добавки СПС на подвижность бетонной смеси и прочность бетона

Шифр состава	Расход цемента, кг/м ³	Содержание добавки, % от МЦ	Осадка конуса, см	Прочность бетона, МПа, в возрасте, сут			
				1	2	7	28
1	230	1,2	7	3,22	5,81	12,55	20,12
		1,3	10	3,45	6,24	13,02	20,43
2	320	1,2	17	8,03	13,82	26,91	35,28
		1,3	18	8,27	14,43	27,53	36,41
3	410	0,7	6	10,05	16,82	34,53	45,43
		1,0	8	12,44	20,94	36,18	46,71
		1,1	20	12,92	21,85	37,74	47,92
		1,2	20	13,43	22,47	38,91	46,17
		1,5	19	14,86	29,85	36,52	45,54

В ходе эксперимента было установлено, что при неизменном водоцементном отношении осадка конуса бетонной смеси возрастает за счет введения добавки СПС с 2-4 для смеси без добавки до 18-20 см, при этом прочность в возрасте 28 суток может превышать прочность бетона без добавки на 2-5%. В возрасте 1, 2 суток прочность модифицированного бетона превышала прочность контрольного бетона в 1,2-1,7 раза, в возрасте 7 суток - в 1,03-1,35 раза. Таким образом, было показано, что добавка СПС помимо пластифицирующего эффекта обеспечивает также и ускорение процесса твердения бетона.

Водопоглощаемость бетонной смеси с добавкой СПС по сравнению с равноподвижной бездобавочной смесью снижается на 10-20%. При этом прочность бетона в первые сутки твердения превышает прочность контрольного бетона в 1,7-2,7 раза, во вторые сутки - в 1,5-2,2 раза, в возрасте семи суток - в 1,4-1,5 раза. К 28 суткам прочность модифицированного бетона превышает прочность контрольного бетона на 19-30%.

Согласно СТБ 1112-98, добавка СПС по эффективности пластифицирующего действия относится к 1 категории - суперпластификаторам.

Исследованиями БелНИИС показано, что ПВК является эффективным ускорителем твердения бетона с противоморозным эффектом. Наши исследования, выполненные на бетоне состава 2 с расходом цемента 320 кг/м^3 , показали, что при вводе ПВК в количестве 1,5% от МЦ прочность бетона при нормально-влажностном твердении (НВТ) в первые сутки была выше в 1,47 раза, во вторые сутки - в 1,44 раза, в седьмые сутки - в 1,26 раза, а в 28 суток - на 20% выше по сравнению с прочностью бетона без добавок.

Установлено также, что при использовании комплекса добавок СПС+ПВК не соблюдается закон аддитивности их действия. Об этом можно судить по значению коэффициента $K_{R_{M,t}}$ (табл. 3), представляющего собой отношение прочности модифицированного бетона в возрасте t ($R_{B,t}$) к прочности бездобавочного бетона в том же возрасте ($R_{B,t}$) при равных значениях их водоцементных отношений.

Таблица 3
Значения функциональных коэффициентов прочности модифицированного бетона в возрасте одних, двух и 28 суток при нормальных условиях твердения

Условное обозначение модификаторов	Содержание модификатора, % от МЦ	Расход цемента, кг/м^3	1 сутки $K_{R_{M1}}$	2 сутки $K_{R_{M2}}$	28 суток $K_{R_{M28}}$
СПС	1,1...1,3	230	1,28	1,24	1,00
		320	1,48	1,29	1,02
		410	1,70	1,33	1,05
ПВК	1,5	320	1,47	1,44	1,20
СПС+ ПВК	1,1...1,3 (СПС) 1,5 (ПВК)	230	1,21	1,27	0,95
		320	1,24	1,28	0,96
		410	1,30	1,29	0,97

Ионы Ca^{2+} ; Cl^- ; Na^+ и другие кроме ускорения процессов твердения способствуют понижению температуры замерзания раствора ПВК. В этой связи с целью установления возможности использования ПВК в качестве противоморозной добавки ставились эксперименты, позволяющие ограничить температуру применения и установить рациональные дозировки ПВК, а также исследовалась кинетика набора прочности бетона с добавкой ПВК при отрицательных температурах.

Характеристики бетонов, принятых в качестве базовых, приведены в табл. 4. В эксперименте использовался портландцемент ПЦ 500-ДО ОАО «Волковисскцементошифер» активностью 55 МПа, Микашевичский щебень фракции 5-20 мм, Заславский песок с модулем крупности $M_x=2,4$.

Таблица 4

Составы бетона, принятые в качестве базовых,
для исследований влияния ПВК

Шифр состава	Расход материалов, кг/м ³				В/Ц	О.К., см	$R_{28}^{НВТ}$, МПа
	Цемент	Песок	Щебень	Вода			
5	330	815	1020	188	0,57	7,0	30,1
6	350	800	1040	175	0,5	5,5	39,2
7	450	730	1040	192	0,43	6,5	47,3

Прочность бетона определялась при испытании образцов-кубов с ребром 10 см, заформованных в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-90. Бетонные образцы после формирования устанавливались без предварительной выдержки в морозильную камеру с заданной температурой среды и выдерживались в ней до проведения испытаний. Температура в морозильной камере поддерживалась автоматически. После заданного срока твердения образцы извлекались из морозильной камеры и перед испытанием выдерживались в течение трех часов в камере нормально-влажностного твердения, а затем один час в лабораторной комнате ($t=12-14^{\circ}\text{C}$).

Результаты исследований влияния содержания ПВК на предельные значения отрицательных температур, при которых продолжается процесс твердения бетона, представлены в табл. 5, из которой следует, что модифицированный добавкой ПВК бетон интенсивно набирает прочность при отрицательных температурах до минус 10°C . Применение ПВК при температуре минус 15°C нерационально, несмотря на высокую дозировку ПВК - 4,5% от массы воды затворения (МВЗ), поскольку семисуточная прочность бетона составила всего 6,3% от 28-суточной прочности бездобавочного бетона НВТ. Установлено также, что при температуре минус 10°C оптимальная дозировка ПВК составляет 3,6% от МВЗ, так как при более высокой концентрации прочность бетона снижается.

Таблица 5

Прочность бетона с добавкой ПВК после 7 суток твердения при температуре минус 10°C и минус 15°C

Шифр контр состава	$R_{28}^{НВТ}$, МПа	Содержание ПВК в бетоне		Прочность бетона в возрасте 7 суток, при температуре твердения, $^{\circ}\text{C}$			
				-10°C		-15°C	
		% МВЗ	% МЦ	МПа	% от $R_{28}^{НВТ}$	МПа	% от $R_{28}^{НВТ}$
5	39,2	2,7	1,35	3,1	7,9	2,1	5,3
		3,6	1,80	6,2	15,7	2,5	6,3
		4,5	2,25	5,3	13,5	2,5	6,3

При назначении содержания добавки ПВК следует также руководствоваться указаниями СТБ 1113-98, ограничивающими ее содержание, исходя из требований коррозионного состояния арматуры в бетоне.

Результаты исследований влияния ПВК на кинетику набора прочности бетона при температурах 0, минус 5 и минус 10°C представлены в табл. 6, из которой следует, что бетон, модифицированный добавкой ПВК при температуре минус 5°C в течение 28 суток набирает 70-85% от прочности бездобавочного бетона в возрасте 28 суток при НВТ. При температуре твердения бетона минус 10°C относительная прочность бетона составляет около 24%.

В этой связи, добавка ПВК относится по классификации СТБ 1112-98 к группе противоморозных добавок, обеспечивающих набор 30% прочности бетона в течение 28 суток при температуре твердения минус 7°C. Следует отметить, что для территории Республики Беларусь наиболее низкая среднемесячная температура составляет минус 8°C. Таким образом, применение добавки ПВК может обеспечить круглогодичное использование беспрогревных методов производства бетонных работ в республике.

Экспериментальные исследования кинетики набора прочности бетона с комплексом добавок СПС+ПВК при отрицательных температурах проводились с использованием методов математического планирования. В качестве варьируемых факторов приняты расход цемента (от 320 до 500 кг/м³), подвижность бетонной смеси (от 2 до 18 см), температура выдерживания бетона (от 0 до минус 15°C). В табл. 7 представлены уровни и интервалы варьирования факторов.

Базовые составы бетона приведены в табл. 1. Дозировка добавок СПС и ПВК принята соответственно 1,3 и 1,75% от МЦ. Количество ПВК в процентах от массы цемента принято максимальным с учетом необходимости обеспечения пассивного состояния арматуры в бетоне.

Матрица планирования эксперимента и результаты исследований представлены в табл. 8.

Обработка результатов эксперимента с использованием математической статистики и произведенная проверка найденных коэффициентов с учетом критерия Стьюдента, позволила получить полиномиальные модели прочности бетона в возрасте 3, 7 и 28 суток.

В натуральных обозначениях факторов модели имеют следующий вид:

прочность в возрасте 3 суток -

$$R_3 = -8,38 - 9,77 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 + 1,53 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot П + 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot Ц \cdot T + 6,33 \cdot 10^{-3} \cdot Л \cdot T + 5,2 \cdot 10^{-2} \cdot Ц - 26,2 \cdot 10^{-2} \cdot П - 0,72 \cdot T; \quad (2)$$

прочность в возрасте 7 суток -

$$R_7 = -8,50 + 0,055 \cdot T^2 + 5,87 \cdot 10^{-3} \cdot Ц \cdot T - 0,022 \cdot П \cdot T + 0,096 \cdot Ц - 0,421 \cdot П + 0,289 \cdot T; \quad (3)$$

прочность в возрасте 28 суток -

$$R_{28} = -3,43 + 0,082 \cdot T^2 + 6,26 \cdot 10^{-3} \cdot Ц \cdot T - 0,024 \cdot П \cdot T + 0,131 \cdot Ц - 0,679 \cdot П + 1,232 \cdot T. \quad (4)$$

Таблица 6

Влияние содержания ПВК на кинетику набора прочности бетона при отрицательных температурах

Шифр состава	$R_{21}^{s/o}$, МПа, при твердении в НВУ	Дозировка ПВК		Температура твердения, °С								
				0			-5			-10		
		% МВЗ	% МЦ	Прочность бетона, МПа/ % от $R_{21}^{s/o}$, в возрасте, сут								
				3	7	28	3	7	28	3	7	28
5	30,1	2,5	1,42	4,6	13,9	26,6	3,3	8,6	20,8	-	-	-
				15,3	46,2	88,4	11,0	28,6	69,1	-	-	-
		3,0	1,71	5,6	14,3	26,9	4,1	8,2	17,6	-	-	-
				18,6	47,5	89,4	13,6	27,2	58,5	-	-	-
		3,5	2,0	5,4	13,8	26,9	3,5	7,5	13,4	3,4	5,3	7,0
				17,9	45,8	89,4	11,6	24,9	44,5	11,3	17,6	23,3
6	39,2	2,5	1,25	8,7	19,7	31,7	4,8	10,9	19,6	-	-	-
				22,2	50,3	80,9	12,2	28,1	50,0	-	-	-
		3,0	1,50	7,45	18,8	34,8	5,5	12,6	25,2	-	-	-
				19,0	48,0	88,7	14,0	32,1	64,3	-	-	-
		3,5	1,75	6,4	16,5	28,1	6,7	12,5	25,2	3,9	6,6	9,7
				16,3	42,1	71,7	17,1	31,9	64,3	10,0	16,8	24,7
7	47,3	3,0	1,29	10,6	21,9	42,8	6,4	15,5	37,2	-	-	-
				22,4	46,3	90,5	13,5	32,8	78,6	-	-	-
		3,5	1,50	11,5	21,5	40,1	7,4	19,3	39,9	5,0	8,0	11,4
				24,3	45,5	84,8	15,6	40,8	84,4	10,6	16,9	24,1

Таблица 7

Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Ед. изм.	Обозначения		Уровни факторов			Интервалы варьирования факторов
		в кодированных переменных	в натуральных переменных	нижний уровень -1	основной уровень 0	верхний уровень +1	
Расход цемента	кг/м ³	X ₁	Ц	320	410	500	90
Подвижность	см	X ₂	П	2	10	18	8
Температура	°С	X ₃	Т	0	-7,5	-15	7,5

Таблица 8

Матрица планирования и результаты эксперимента

План эксперимента						Прочность бетона, МПа,		
в нормализованных переменных			в натуральных переменных			в возрасте, сут		
X ₁	X ₂	X ₃	Ц	П	Т	3	7	28
-1	-1	-1	320	2	0	7,13	21,69	36,81
+1	-1	-1	500	2	0	18,12	37,89	57,14
-1	+1	-1	320	18	0	4,43	14,18	25,42
+1	+1	-1	500	18	0	12,38	32,83	51,27
-1	-1	+1	320	2	-15	0,29	1,64	6,61
-1	+1	+1	320	18	-15	0,14	0,72	4,67
+1	+1	+1	500	18	-15	0,31	2,18	9,92
-1	0	0	320	10	-7,5	3,09	7,03	12,63
+1	0	0	500	10	-7,5	7,74	15,87	29,32
0	-1	0	410	2	-7,5	6,82	14,22	30,78
0	+1	0	410	18	-7,5	3,24	8,38	13,92
0	0	-1	410	10	0	0,41	26,33	46,77
0	0	+1	410	10	-15	0,32	1,59	8,02
0	0	0	410	10	-7,5	4,71	10,02	20,47

В результате исследований установлено, что при введении ПВК в комплексе с СПС и сохранении заданной подвижности концентрация добавки ПВК может быть увеличена с 2,5-3,0 до 3,5-5,5% от МВЗ при этом бетон модифицированной добавкой СПС+ПВК при температуре 0°С в течение 3 суток набирает 13-30% от 28-суточной прочности бездобавочного бетона НВТ, в течение 7 суток - 53-73%, а в возрасте 28 суток его относительная прочность составляет 96-115%. При температуре твердения минус 5°С модифицированный добавкой СПС+ПВК бетон в течение 3 суток набирает 5-18%, в течение 7 суток - 30-45%, в течение 28 суток - 60-85% от 28-суточной прочности бездобавочного бетона НВТ. При температуре твердения минус 10°С относительная прочность модифицированного бетона в возрасте 3 суток составила около 8%, в возрасте 7 суток - 10-20%, в возрасте 28 суток - 24-45%. При температуре твердения минус 15°С в течение 28 суток модифицированный бетон набирает 18-29% от 28-суточной прочности бездобавочного бетона нормально-влажностного твердения.

В ходе сравнения интенсивности роста прочности бетона, модифицированного добавками, ПВК и СПС+ПВК, при отрицательных температурах было установлено, что через 28 суток твердения при температуре минус 10, минус 15°С прочность бетона с добавкой СПС+ПВК при равноподвижных смесях в два раза превосходит прочность бетона с однокомпонентной добавкой ПВК, что свидетельствовало об эффективности комплекса СПС+ПВК по сравнению с однокомпонентной добавкой ПВК при твердении бетона в условиях отрицательных температур.

Отмечено, что при температуре минус 15°С твердение бетона резко замедляется. В этих случаях для интенсификации твердения бетона рекомендуется противоморозные добавки применять в сочетании с методом термоса.

Исследование кинетики набора прочности модифицированных бетонов при низких положительных температурах, характерных для ранних сроков твердения при термосном выдерживании, показало, что выдерживание бетона при температуре 10°С обеспечивает к трем суткам набор 30-65% от 28-суточной прочности бездобавочного бетона НВТ, а к 7 суткам относительная прочность достигает 70-90%.

Установлено, что изменение температурного режима всего на несколько градусов оказывает существенное влияние на прочность бетона в раннем возрасте. Так, если при температуре 2°С бетон состава №3 ($R_{нвт}^{НВТ} = 44,75 \text{ МПа}$), модифицированный добавкой СПС+ПВК, к 3 суткам набирает 34% от 28-суточной прочности бездобавочного бетона НВТ, то при температуре 6°С - 46%, а при температуре 10°С - 54%.

После 28 суток твердения при низких положительных температурах модифицированный бетон набирает прочность, превышающую прочность бетона без добавки при нормально-влажностных условиях твердения на 10-30%. Дальнейшее хранение образцов в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях показало, что прочность увеличивается еще на 4-8%.

Результаты эксперимента показали, что при сочетании противоморозной добавки СПС+ПВК с методом термоса критическую прочность бетон приобре-

таст уже на вторые-третьи сутки твердения, а к семи суткам может воспринимать нагрузку величиной 70-80% от нормативной.

В зимних условиях очень часто возникает необходимость в сокращении сроков твердения бетона. Для этих целей обычно применяются различные методы тепловой обработки конструкций. Многочисленные исследования показывают, что обеспечить высокий темп твердения бетонов при низкотемпературном прогреве удастся также за счет применения комплексных добавок. Предполагая эффективность добавки СПС+ПВК при низкотемпературном прогреве, приняли следующий режим: 2+1,5+2+14,5 (соответственно предварительная выдержка + подъем до максимальной температуры + изотермический прогрев при максимальной температуре + остывание) при температурах изотермического прогрева 30, 40, 50°C.

Содержание цемента в бетоне варьировалось от 230 до 410 кг/м³, подвижность бетонной смеси от 2 до 18 см. Дозировка добавок СПС и ПВК принята соответственно 1,3 и 1,5% от МЦ. Базовые составы бетона приведены в табл. 1.

Установлено, что повышение температуры прогрева резко увеличивает скорость набора прочности модифицированного бетона в первые сутки. Прочность модифицированного бетона при температурах прогрева 30, 40, 50°C через 4 ч после завершения цикла тепловлажностной обработки составляла соответственно 39-60%, 48-65%, 50-72% от прочности бетона без добавки в возрасте 28 суток при нормально-влажностных условиях твердения.

В возрасте 2-3 суток вне зависимости от температуры прогрева бетон с фиксированным расходом цемента набирает одинаковую прочность. Для более поздних сроков твердения сохраняется зависимость: чем ниже температура прогрева, тем выше прочность. Так, к 7 суткам прочность модифицированного бетона при температуре прогрева 30°C, составляла 100-110%, а при температуре 50°C - 85-103% от прочности бетона без добавок в возрасте 28 суток при твердении в нормально-влажностных условиях.

Наибольшая 28-суточная прочность также получена у модифицированного бетона после прогрева при температуре 30°C - 130-135%, тогда как после прогрева при температуре 50°C получена относительная прочность 112-118%. Можно предположить, что прогрев бетона при температуре выше 50°C вызовет снижение прочности, по сравнению с прочностью бетона нормально-влажностного твердения.

Таким образом, было установлено, что для получения максимально возможной прочности в суточном возрасте оптимальной температурой является 50°C, а для получения максимальной прочности через 28 суток - температура 30°C.

Назначение режимов выдерживания модифицированных бетонов предложено осуществлять с использованием графиков набора прочности, которые позволяют установить среднюю температуру бетона, обеспечивающую набор требуемой распалубочной прочности в заданные сроки.

Содержание цемента в бетонной смеси, в первом приближении, принимается по типовым нормам расхода цемента СНиП 5.01.23 или на основании

практических данных заводов изготовителей, исходя из заданной марочной прочности бетона и подвижности бетонной смеси.

Для установления в бетоне требуемого температурного режима должна быть подобрана конструкция опалубки с необходимым коэффициентом теплопередачи K , кДж/(м²·ч·°С), который предложено определять по формуле

$$K = \frac{\rho \cdot C \cdot (t_{б.к} - t_{б.к}) + g_{т.л.М} \cdot Ц}{M_n \cdot \tau (t_{б.ср} - t_{в})}, \quad (5)$$

где ρ - плотность бетонной смеси, кг/м³;

C -- удельная теплоемкость бетона, кДж/кг·°С;

$t_{б.к}$ - температура бетонной смеси после укладки и уплотнения с учетом теплопотерь на нагрев опалубки и арматуры, °С;

$t_{б.к}$ - конечная (расчетная) температура, до которой определяется время остывания бетона, °С;

$g_{т.л.М}$ - тепловыделение 1 кг цемента в модифицированном бетоне, кДж/кг;

$Ц$ - расход цемента на 1 м³ бетона, кг;

M_n - модуль поверхности конструкции, м⁻¹;

τ - продолжительность твердения, ч;

$t_{б.ср}$ - средняя температура бетона за время τ , °С;

$t_{в}$ - средняя температура воздуха за время τ , °С.

Температуру бетонной смеси в конце рассматриваемого интервала времени $t_{б.к}$, °С, предложено рассчитывать по зависимости

$$0,006 \cdot t_{б.к}^2 + b \cdot t_{б.к} + c = 0, \quad (6)$$

где $b = 1 - 0,006 \cdot t_{б.ср} - 1,03 - 0,181 \cdot M_n - 0,006 \cdot t_{б.к}$;

$$c = t_{б.ср} \cdot (1,03 + 0,181 \cdot M_n) + 0,006 \cdot t_{б.ср} \cdot t_{б.к} - t_{б.к}$$

Значение удельного тепловыделения цемента $g_{т.л.М}$, кДж/кг, в модифицированном бетоне за время τ , сут, при температуре t , °С, определяется по формуле

$$g_{т.л.М} = K_{R.M.t} \cdot g_{т.л.}, \quad (7)$$

где $K_{R.M.t}$ - коэффициент, учитывающий влияние модификаторов на интенсивность набора прочности бетоном;

$g_{т.л.}$ - значение удельного тепловыделения за время τ при средней температуре твердения t , кДж/кг.

Значение коэффициента K_{RMt} определяется по табл. 9.

Таблица 9

Зависимости функциональных коэффициентов прочности модифицированного бетона в возрасте одних, двух и 28 суток при нормально-влажностных условиях твердения

Условное обозначение модификаторов	Содержание модификатора, % от МЦ	1 сутки K_{RM1}	2 сутки K_{RM2}	28 суток K_{RM28}
СПС	$1,56-1,1 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$	$0,47+2,98 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$	$1,06+0,44 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$	$0,78+0,61 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$
ПВК	1,2, 1,5	$1,05 A$ $1-5 \cdot 10^{-3} B$	$1,05 A$ $1-2,7 \cdot 10^{-3} B$	1,05 A
СПС+ПВК	$1,56-1,1 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$ (СПС) 1,2, 1,5 (ПВК)	$0,96+1,04 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$	$1,11+0,48 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$	$0,89+0,30 \cdot 10^{-3} \cdot Ц$

Примечания:

1. В представленных зависимостях коэффициенты А и В имеют следующий вид:
 $A=0,9+4,7 \cdot 10^{-3} \cdot B$; $B=75$.
2. Значение K_{RM} за период между 2 и 28 сутками определяется по интервалляции.

По полученным параметрам подбирается состав бетона с использованием известных методик и назначением рационального содержания модификаторов.

На основании результатов представленных исследований, а также исследований влияния на прочность модифицированного бетона минералогического состава и активности цемента, удельного изотермического тепловыделения цемента и других факторов, выполненных с участием автора в лаборатории модифицированного бетона института БелНИИС, разработаны рекомендации по определению составов и режимов выдерживания модифицированных бетонов при положительных и отрицательных температурах окружающей среды.

В четвертой главе изложена технология изготовления монолитных железобетонных конструкций из бетонов, модифицированных добавками ПВК и СПС+ПВК, содержатся данные об опытно-промышленном внедрении результатов исследований.

Отмечено, что опытно-промышленное внедрение осуществлялось на 7 объектах строительно-монтажными трестами №7 г.Минска, №27 г.Гомеля, №32 г.Волковысска, №27 г.Москвы. Модифицированные бетоны применялись при строительстве II очереди центральной части Северного вокзала г.Минска, при возведении опытного хранилища по захоронению токсичных отходов жирокосбишата и 72-квартирного жилого дома в г.Гомеле, строительстве силовых складов цемента II очереди Красносельского цементного комбината в г.Волковысске и 9-ти этажного гаража-стоянки в г.Москве.

По результатам промышленного внедрения установлено, что в теплый период сроки выдерживания конструкций в опалубке при применении модифицированного бетона сокращаются на 50-70%. Использование в зимний период беспрогревного метода возведения железобетонных конструкций при температуре до минус $10^{\circ}C$ позволило достичь экономии электрической энергии

около 40 кВт·ч/м³. Расход электрической энергии при электропрогреве модифицированного бетона сокращается в 1,3-1,5 раза, сроки выдерживания - в 1,4 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показано, что интенсивная малоэнергоёмкая технология производства бетонных работ в зимний период может осуществляться при использовании отечественных химических добавок - суперпластификатора СПС и ускорителя твердения бетона ПВК, стоимость которых в 2-10 раз ниже стоимости импортных добавок [1-5].

2. Изучена кинетика твердения бетонов, модифицированных добавками ПВК и СПС+ПВК при разных температурных режимах. Установлена рациональная область применения добавки СПС+ПВК. Определено рациональное содержание ПВК в зависимости от температуры твердения бетона в зимних условиях и от водоцементного отношения [1,2,5].

3. На основании анализа существующих методов зимнего бетонирования и комплекса выполненных лабораторных исследований добавок ПВК и СПС+ПВК при отрицательных температурах предложен беспрогресвный метод выдерживания конструкций в зимних условиях, основанный на применении противоморозной добавки ПВК при отрицательных температурах до минус 10°C и комплексной добавки СПС+ПВК при температурах до минус 15°C. При более низких температурах предложено сочетать метод «термоса» с применением ПВК и СПС+ПВК, а также применять низкотемпературный прогрев бетона [2,5,6].

4. Показано, что применение комплекса добавок СПС+ПВК позволяет при низких положительных температурах (5-15°C) обеспечить достижение прочности бетона в раннем возрасте (до 7 суток) от 50 до 110% проектной прочности бездобавочного бетона [5].

5. На основании результатов экспериментальных исследований, выполненных с использованием стандартных методик, методов математического планирования эксперимента и статистических методов обработки экспериментальных данных, получены корреляционные зависимости кинетики набора прочности модифицированного бетона для определения составов бетона и сроков достижения его заданной прочности при производстве бетонных работ по методу «холодного» бетона, методу «термоса» и с применением тепловой обработки. Корреляционные зависимости действительны при использовании портландцементов Волковысского и Кричевского цементно-шиферных комбинатов [2,5].

С использованием корреляционных зависимостей и методики прогнозирования прочности бетона разработаны рекомендации по выбору методов производства бетонных работ и выдерживания конструкций в зависимости от уровня достигаемой прочности бетона, модуля поверхности и температуры окружающей среды [5].

6. Результаты исследований получили опытно-промышленное внедрение при строительстве II очереди центральной части Северного вокзала г.Минска, при возведении опытного хранилища по захоронению токсичных отходов жирокомбината и 72-квартирного жилого дома г.Гомеля, строительстве силосных складов цемента II очереди Красносельского цементного комбината в г.Волковыске и 9-ти этажного гаража-стоянки в г.Москве.

В результате опытно-промышленных работ, подтвержденных соответствующими актами, установлено, что использование разработанных рекомендаций при организации производства работ при положительных температурах окружающей среды позволяет сократить сроки выдерживания конструкций в опалубке на 50-70%, а при отрицательных температурах - кроме того, сократить затраты электроэнергии в 1,3...1,5 раза [4,5].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Парфенова Л.М., Бозылев В.В. О влиянии пластификатора СПС на прочностные свойства бетонов // Технические вузы - республике: Материалы международной 52-й науч.-технич. конф. профессоров, преподавателей, науч. работников, аспирантов и студентов БГПА. В 7-ми частях / Бел. гос. политех. акад. - Минск, 1997. - Ч.5. - С. 66.
2. Блещик Н.П., Парфенова Л.М. Режим выдерживания модифицированного бетона в опалубке // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений: Сб.ст. / Под ред. Н.П.Блещика, Э.И.Батяновского. - Брест: БПИ, 1998. - Вып.1. - С. 33-36.
3. Парфенова Л.М., Бозылев В.В. Исследование комплексного воздействия добавок и прогрева бетона на кинетику набора прочности // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений: Сб.ст. / Под ред. Н.П.Блещика, Э.И.Батяновского. - Брест: БПИ, 1998. - Вып.1. - С. 123-126.
4. Парфенова Л.М., Мазуренок Г.В. Особенности энергосберегающей технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений: Сб.ст. II Межвузовской науч.-технич. конф. В 2-х частях / Под ред. Н.П.Блещика, В.В.Тура. - Брест: БПИ, 1998. - Ч.2. - С. 65-67.
5. Исследовать, разработать и внедрить модифицированные составы и энергосберегающие технологии изготовления железобетонных конструкций в различных температурных условиях с применением полиметаллических водных концентратов (ПВК): Отчет о НИР (заключ.) / Науч.- исслед. и экспер.-проект. гос. предприятие - ин-т БелНИИС; Рук. Темы Н.П.Блещик; № ГР 1997239. - Минск, 1998. - 328 с.
6. Производство бетонных работ на строительной площадке (Пособие к СНиП 3.01.01-85, СНиП 3.03.01-87, СНиП III-4-80) - в печати.

РЭЗІЮМЭ

Парфёнава Людміла Міхайлаўна

ЭНЕРГАЗБЕРАГАЛЬНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ ЎЗВЯДЗЕННЯ ЖАЛЕЗАБЕТОННЫХ КАНСТРУКЦЫЙ У ЗІМОВЫХ УМОВАХ

Мадыфікатары бетону, суперпластыфікатар, паскаральнік цвярдзення, энергазберагальная тэхналогія бетону

Аб'ектам даследавання з'яўляецца бетон, мадыфікаваны дабаўкамі СПС і ПВК беларускіх прадпрыемстваў, пры рэжымах вытрымлівання, адпаведных вытворчасці работ у зімовы час. Выкарыстаныя метады даследаванняў рэгламентаваны дзеючымі стандартамі і інструкцыямі. Для правядзення даследаванняў выкарыстаны метады матэматычнага планавання эксперыменту.

Распрацавана энергазберагальная тэхналогія ўзвядзення маналітных жалезабетонных канструкцый у зімовых умовах, якая заключаецца ў арганізацыі вытворчасці бетонных работ з прымяненнем беспрагрэўных і малаэнергаёмістых рэжымаў і адрозніваецца тым, што з гэтай эканоміі энергарэсурсаў і інтэнсіфікацыі працэсаў узвядзення жалезабетонных канструкцый прапанавана мадыфікаваць бетоны хімічнымі дабаўкамі беларускіх прадпрыемстваў з распрацоўкай метадыкі вызначэння рацыянальных саставаў бетону і энергазберагальных рэжымаў узвядзення жалезабетонных канструкцый, што дазваляе ў 1,3-1,5 разы эканоміць цеплавую энергію і забяспечваць значны эканамічны эфект.

Па выніках дысертацыі распрацаваны рэкамендацыі па вызначэнні саставаў і рэжымаў вытрымлівання мадыфікаваных бетонаў пры станоўчых і адмоўных тэмпературах навакольнага асяроддзя.

Вынікі дысертацыйнай працы выкарыстаны пры ўзвядзенні жалезабетонных канструкцый у зімовых умовах шэрагу аб'ектаў прамысловага і грамадзянскага прызначэння.

РЕЗЮМЕ

Парфенова Людмила Михайловна

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Модификаторы бетона, суперпластификатор, ускоритель твердения, энергосберегающая технология бетона

Объектом исследования являлся бетон, модифицированный добавками СПС и ПВК белорусских предприятий, при режимах выдерживания, соответствующих производству работ в зимнее время. Используемые методы испытаний регламентированы действующими стандартами и инструкциями. Для проведения исследований использован метод математического планирования эксперимента.

Разработана энергосберегающая технология возведения монолитных железобетонных конструкций в зимних условиях, заключающаяся в организации производства бетонных работ с применением беспрогревных и малоэнергоемких режимов, и отличающаяся тем, что с целью экономии энергоресурсов и интенсификации процессов возведения железобетонных конструкций предложено модифицировать бетоны химическими добавками белорусских предприятий с разработкой методики определения рациональных составов бетона и энергосберегающих режимов возведения железобетонных конструкций, что позволяет в 1,3-1,5 раза экономить тепловую энергию и обеспечить значительный экономический эффект.

По результатам диссертации разработаны рекомендации по определению составов и режимов выдерживания модифицированных бетонов при положительных и отрицательных температурах окружающей среды.

Результаты диссертационной работы использованы при возведении железобетонных конструкций в зимних условиях ряда объектов промышленного и гражданского назначения.

SUMMARY

Parfionava Liudmila Mikhailovna

ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF THE ERECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN WINTER TIME

Concrete modifiers, super plasticiser, solidification accelerator, energy saving, concrete technology

The object of the research is concrete, modified with admixtures of RPS and PWC of Belarus enterprises, with curing regimes suitable for winter working. The testing methods being used are regulated according to functioning standards and instructions. The method of mathematics planning is used for the fulfillment of the research.

The worked out energy saving technology of erection of monolithic reinforced concrete structures in winter time is organized of concrete production with the usage of low power regimes without warming up, and it is remarkable for the fact that with the purpose to economize energy resources and to intensify the processes of erection of reinforced concrete structures there was the proposal to modify concrete with the help of chemical admixtures at Belarus enterprises with the development of the methods of determination of rational concrete composition and energy saving regimes of erection of reinforced concrete structures. That will allow to economize heat power by 1,3 -1,5 times and to provide an essential economical effect.

According to results of the thesis The Recommendation for the determination of the composition, regimes of curing of modified concrete with positive and negative temperatures of the environment has been worked out.

The result of the thesis have been used during the erection of reinforced concrete structures of some civil and industrial building in winter time.