

05.484

Б 71

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ЧЕЛЫБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Инж. Н. П. Блювштейн

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА НАЗНАЧЕНИЯ
ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРА-
БОТКИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

05.484. Строительные материалы, детали
и изделия

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челыбинск
1970

ЧПИ

666.972

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, прислать отзыв и принять участие в заседании Совета инженерно-строительного факультета по присуждению ученых степеней.

Работа выполнена на кафедре строительных материалов Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент Ф.Г.Шумилин.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор И.М.Френкель; кандидат технических наук Г.И.Задат.

Ведущее предприятие - трест "Оргтехстрой" Главмехуралстроя.

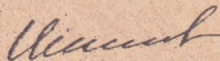
Автореферат разослан "___" октября 1970 г.

Защита диссертации состоится ноября 1970 года на заседании Совета инженерно-строительного факультета по присуждению ученых степеней Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

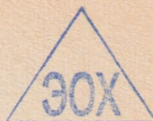
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваш отзыв по автореферату, заверенный печатью, просим выслать в двух экземплярах по адресу: Челябинск, 44, проспект В.И.Ленина, 76, Политехнический институт, Совет инженерно-строительного факультета по присуждению ученых степеней.

Ученый секретарь Совета
доцент, канд. техн. наук



/Д.И.Игнатьев/



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

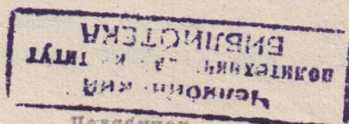
Инж. Н. П. Блювштейн

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА НАЗНАЧЕНИЯ
ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРА-
БОТКИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

05.484. Строительные материалы, детали
и изделия

05.23.05

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени
кандидата технических наук



Челябинск

1970

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, прислать отзыв и принять участие в заседании Совета инженерно-строительного факультета по присуждению ученых степеней.

Работа выполнена на кафедре строительных материалов Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Ф.Г.Шумилин.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор И.М.Френкель; кандидат технических наук Г.И.Задат.

Ведущее предприятие – трест "Оргтехстрой" Главмхуралстрой.

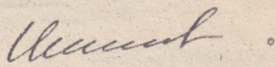
Автореферат разослан "___" _____ октября 1970 г.

Защита диссертации состоится ноября 1970 года на заседании Совета инженерно-строительного факультета по присуждению ученых степеней Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваш отзыв по автореферату, заверенный печатью, просим выслать в двух экземплярах по адресу: Челябинск, 44, проспект В.И.Ленина, 76, Политехнический институт, Совет инженерно-строительного факультета по присуждению ученых степеней.

Ученый секретарь Совета
доцент, канд. техн. наук



/Д.И.Игнатьев/

ВВЕДЕНИЕ

Тепловлажностная обработка заформованных изделий является одним из ответственных этапов изготовления сборного железобетона. В настоящее время существуют подробные рекомендации по назначению оптимальной температуры, длительности разогрева и охлаждения при тепловлажностной обработке бетонных и железобетонных изделий.

Изотермический прогрев является важнейшим периодом тепловой обработки бетона, т.к. в это время происходит развитие структурообразующих процессов, обеспечивающих прочность бетона. Но несмотря на это, существующие инструкции по выбору продолжительности этого периода, не учитывая поведения цемента при повышенных температурах, предлагают лишь ориентировочные режимы, требующие для каждой новой партии цемента длительной корректировки. За период корректировки на железобетонных заводах и полигонах зачастую успевают израсходовать всю партию цемента, на которой велось опробование.

Следовательно, своевременно учитывать все особенности поведения цемента при назначении режимов тепловлажностной обработки методом непосредственных предварительных опробований согласно действующим инструкциям в условиях завода практически невозможно.

Применение режимов, отличающихся от оптимальных, часто приводит к понижению качества пропариваемых изделий или к неоправданному удлинению цикла тепловлажностной обработки, что, в свою очередь, ведет к перерасходу цемента или пара, а в ряде случаев уменьшает оборачиваемость форм и производительность камер.

Если учесть, что потребность в сборных железобетонных изделиях неуклонно растет, то становится очевидным, что проектирование оптимальных режимов тепловлажностной обработки без предварительного длительного опробования является одной

из актуальных задач промышленности сборного железобетона, требующей неотложного решения для удешевления строительства в целом.

В Советском Союзе свыше 90% выпускаемых сборных железобетонных конструкций подвергаются тепловлажностной обработке в безнапорных камерах, работающих при атмосферном давлении и температуре не выше 100°C .

Ц е л ь д а н н о й работы заключается в изыскании возможности назначения оптимальных режимов тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий в безнапорных камерах без длительных опробований с обеспечением проектных характеристик бетона при возможно малых затратах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, практических предложений и 12 приложений. Содержит 36 рисунков, 147 страниц текста, в том числе 41 таблицу. В список использованной литературы включены 164 наименования.

В главе I дан краткий обзор состояния изучаемого вопроса и вскрыты недостатки существующих рекомендаций по назначению режимов тепловлажностной обработки железобетона. С.А.Мироновым, Н.А.Малининой, П.П.Будниковым, И.Д.Запорожцем, Раструпом, Нерсом, Саулом, Бергстромом и др.ученными установлено, что тепловлажностная обработка, проведенная без развития деструктивных явлений, не влияет на общий характер зависимости прочности бетона от степени гидратации цемента, а только у с е р я е т гидратационные процессы. Однако при тепловлажностной обработке повышение степени гидратации цемента не всегда сопровождается увеличением прочности бетона, т.е. одновременно со структурообразованием могут проходить и деструктивные процессы. Следовательно, решая вопрос о режимах тепловлажностной обработки необходимо изучать и учитывать факторы, влияющие на п р о д о л ж и т е л ь н о с т ь бездефектного структурообразования.

Многие экспериментаторы изучают влияние величины В/Ц фактора на п р о ч н о с т ь пропариваемого бетона, тогда

как для выбора оптимальной продолжительности тепловлажностной обработки необходимо изучать влияние этого фактора на продолжительность бездефектного структурообразования.

По Л.А.Маликиной деструктивные явления при тепловлажностной обработке получают тем большее развитие, чем меньше пластическая прочность пропариваемого бетона. Пластическая же прочность свежееуложенного бетона зависит от консистенции бетонной смеси, использованной для его приготовления и скорости развития гидратационных процессов.

Отождествление понятий "подвижность", "пластичность" осложняет изучение, а следовательно, и учет этих важных факторов при проектировании тепловлажностной обработки.

По И.Д.Запорожцу гидратационный саморазогрев пропариваемого бетона при правильно выбранной температуре обеспечивает нарастание пластической прочности и способствует уменьшению градиента температур между пропариваемым бетоном и средой, но в настоящее время гидратационный саморазогрев при назначении режимов не учитывается.

Изучение свойств цемента, проявляющихся при повышенных температурах, требует длительного времени, сложной аппаратуры и кадров высокой квалификации, что является тормозом для учета этого важного фактора при назначении режимов тепловлажностной обработки в условиях завода. Для нужд производства, по нашему мнению, необходим показатель поведения цемента при повышенных температурах, подобно показателю марки, косвенно характеризующему особенности поведения цемента при обычных температурах. В силу изложенного, существующие рекомендации назначения режимов тепловлажностной обработки, недостаточно учитывая факторы, влияющие на продолжительность бездефектного структурообразования, позволяют назначать только приближенные режимы.

В главе II сформулированы задачи работы и рассмотрены некоторые теоретические представления, полагаемые в основу исследования. Основная задача работы заключается в обосновании и разработке метода проектиро-

вания оптимальной продолжительности изотермического прогрева при тепловлажностной обработке бетонных и железобетонных изделий без длительных корректировок назначаемых режимов.

Предлагаемый метод учитывает особенности поведения различных цементов при повышенных температурах, обеспечивая проявление максимальных возможностей цемента к гидратации и структурообразованию не только при тепловлажностной обработке, но и в последующее время твердения. Для решения поставленной задачи оказалось необходимым:

- выбрать характеристику особенностей поведения цемента при повышенных температурах для возможности учета их при назначении оптимальной длительности тепловлажностной обработки бетона;

- разработать рабочую гипотезу о влиянии величины В/Ц фактора и консистенции бетонной смеси (ОК и Ж) на продолжительность изотермического прогрева железобетонных изделий;

- экспериментально проверить положения рабочей гипотезы на пропариваемом бетоне, варьируя его исходный состав и длительность изотермического прогрева;

- разработать и экспериментально проверить рекомендации по назначению режимов тепловлажностной обработки бетонов с учетом выявленных факторов и положений рабочей гипотезы.

В этой же главе обсуждаются понятия "подвижность", "пластичность" и факторы, влияющие на эти свойства бетонной смеси.

Опираясь на работы П.А.Ребиндера, И.Д.Запорожца, Б.Г.Скрамтаева, установлено, что увеличение количества теста в бетонной смеси не всегда соответствует увеличению ее подвижности. Подвижность же бетонной смеси от величины В/Ц фактора и количества цемента зависит только тогда, когда эти факторы обеспечивают изменение в системе количества свободной воды.

Во второй главе дано обоснование выбора показателя поведения цемента при тепловлажностной обработке. В качестве такого

показателя предложена минералогическая характеристика цемента - η , определяемая методом ЦНИПС-2, разработанным И.М. Френкелем:

$$\eta = \frac{R_{пр}^{сут}}{R_{нт}^{сут}}, \quad (I)$$

где $R_{пр}^{сут}$ - прочность на сжатие пропаренных цементных образцов-кубов в суточном возрасте;
 $R_{нт}^{сут}$ - прочность на сжатие аналогичных образцов суточного твердения в нормальных условиях.

Показатель η также использовался нами для оценки возможной скорости нарастания пластической прочности в системе "вода-цемент" при разных значениях В/Ц фактора.

Выбран способ разогрева бетона, предложенный НИИЖБом, когда камера разогревается в сравнительно короткий срок, а прогрев изделий завершается при достижении средой предельной температуры. В случае правильно выбранной предельной температуры прогресса изделий в изотермический период осуществляется с минимальными затратами тепла извне, т.к. в теле бетона, прогреваемого при предельной температуре, происходит максимальный рост пластической прочности и уменьшение градиента температур за счет интенсивного гидратационного разогрева.

При назначении оптимальной длительности изотермического прогресса необходимо учитывать скорость развития пластической прочности и величину собственного тепловыделения бетона. Для облегчения решения этой задачи была предложена гипотеза о влиянии минералогической характеристики цемента и водоцементного фактора на скорость нарастания пластической прочности при гидратационном саморазогреве бетона, которая сформулирована следующим образом.

Скорость нарастания пластической прочности при гидратационном саморазогреве бетона, приготовленного на цементах с минералогической характеристикой $\eta < 4$, не зависит от величины В/Ц фактора, а для бетона на цементе с минералогической характеристикой $\eta > 4$ - зависит.

Это объясняется так. Цементы с $\eta \geq 4$ могут быть белитовыми с умеренным тепловыделением и любого минералогического состава клинкерной части, но с высоким содержанием шлака или минеральных активных добавок. Как известно, такого рода добавки в первый момент твердения цемента в процессах гидратации и, следовательно, тепловыделения не только не участвуют, но требуют значительного количества тепла на свой прогрев. Поэтому система "вода-цемент" при $\eta \geq 4$ в ранний период очень чувствительна к изменению дозировки воды, обладающей значительной теплоемкостью. Саморазогрев, а следовательно, и нарастание пластической прочности бетона в этом случае наступает тем скорее, чем ниже В/Ц.

Цементы с $\eta < 4$ могут быть алитовыми или алитово-алюминатными. Цементы такого типа быстро твердеют и обладают значительным тепловыделением даже в ранние сроки гидратации. Поэтому содержание в системе "вода-цемент" разного количества воды в соответствии с величиной расчетного В/Ц существенно не влияет на первоначальную скорость гидратационных процессов. Можно полагать, что скорость нарастания пластической прочности бетона на цементе с $\eta < 4$ не зависит от величины В/Ц фактора.

Гипотеза позволяет предложить следующий вывод.

Длительность изотермического прогрева для изделий, приготовленных на цементе с η менее четырех следует выбирать с учетом консистенции бетонной смеси, а для изделий на цементе с η , равной четырем или более, - с учетом величины В/Ц фактора.

В главе III описана методика исследования. При уточнении факторов, влияющих на оптимальную продолжительность изотермического прогрева бетона, для экспериментальной проверки положений гипотезы использовались графики, разработанные НИИЖБом в 1961 и 1964 годах. Известно, что при составлении графиков статистической обработке подвергались данные о температуре, продолжительности изотермического прогрева, величине показателя относительной прочности, обеспечиваемой пропариванием. Вид цемента, по заявлению авторов, вписывался в

графики без учета особенностей его поведения при повышенных температурах.

Как показано в обзоре литературы, зависимость продолжительности изотермического прогрева от величины В/Ц фактора и консистенции бетонной смеси до конца не вскрыта и, следовательно, в рекомендуемых графиках учтена не полностью. Поэтому графики НИИЖБа позволяют назначить только приблизительные режимы, требующие обязательных длительных корректировок непосредственно при их использовании.

При экспериментальной проверке рабочей гипотезы для бетона различного состава назначались режимы с разной продолжительностью изотермического прогрева, один из которых — по графикам НИИЖБа 1961 года. Оптимальность режима устанавливалась при помощи показателей, изучаемых некоторыми стандартными методами, а также методами, разработанными нами на основе рентгеноструктурного, термогравиметрического и ультразвукового анализов.

Самый короткий по продолжительности режим, из всех опробованных, обеспечивающий бетону непосредственно после пропаривания необходимую долю проектной прочности (70%), а к 28 суткам нормального твердения — прочность не ниже марочной при достаточной интенсивности ее нарастания во времени — оценивался как оптимальный.

Для оптимальных режимов по трем показателям: величине предельной температуры, длительности изотермического прогрева и величине относительной прочности, обеспечиваемой тепловлажностной обработкой — отыскивалась точка на графиках НИИЖБа 1961 и 1964 г.г., соответствующая этим показателям. Остальные данные для оптимальных режимов: консистенция бетонной смеси, величина В/Ц фактора, вид цемента, показатель η — вписывались в графики НИИЖБа 1961 и 1964 годов согласно предложенной гипотезе. В результате обработки данных по оптимальным режимам были уточнены графики НИИЖБа по назначению оптимальной продолжительности изотермического прогрева бетона. После чего была проведена проверка уточненных графиков с использованием данных, опубликованных в печати.

После такого рода проверки предлагаемой гипотезы было проведено экспериментальное опробование уточненных графиков. При экспериментальном опробовании продолжительность изотермического прогрева бетона задавалась в двух вариантах: с учетом сделанных выводов (оптимальная) и с удлинением на два часа. Найденная зависимость оптимальной продолжительности изотермического прогрева от величины В/Ц фактора, консистенции бетонной смеси и показателя η позволила разработать рекомендации по проектированию оптимальной продолжительности режима тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий в безнапорных камерах, исключающие длительные опробования.

В работе использовался рентгеноструктурный анализ для определения минералогического состава цементов и их гидратационных новообразований, а также для оценки оптимальности режимов тепловлажностной обработки. Рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре УРС-50ИМ, снабженном регистрирующим прибором ЗПП-09.

Рентгенограмма Ц (рис. I) получена при исследовании порошка исходного цемента, и является "внешним эталоном", рентгенограммы I, II, III - порошков 28-дневного цементного камня, твердевшего в нормальных условиях после тепловлажностной обработки совместно с бетоном, приготовленным на том же цементе. Если рассмотреть точки "а" и "б" участка "L" во всех представленных рентгенограммах рис. I, приняв величину их интенсивности на рентгенограмме цемента Ц за 100%, то можно видеть, что на рентгенограммах цементного камня I, II, III интенсивность дифракционных отражений в этих точках уменьшается с увеличением продолжительности режима, что характеризует увеличение степени гидратации цемента пропорционально длительности режима.

Степень гидратации цемента при том или ином режиме, установленная с помощью рентгенограмм цемента и цементного камня, а также показателей R_n , U_{28} , характеризующих соответственно долю прочности пропаренного бетона от марочной величины и интенсивность его твердения к 28 суткам, дает возможность

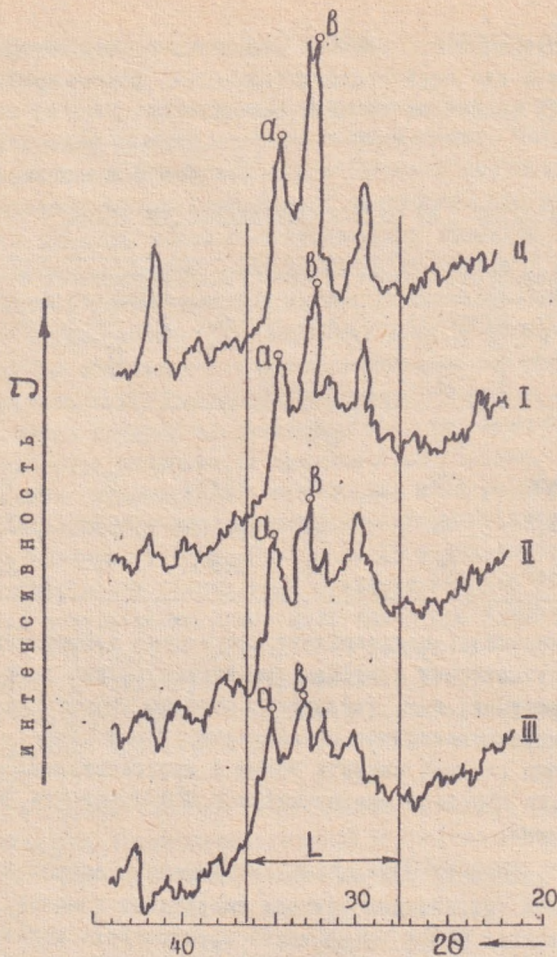


Рис. 1. Рентгенограммы цемента и цементного камня, приготовленного на его основе:
 Ц - шлакопортландцемент;
 I - цементный камень на его основе, обработанный по режиму 2-7-1,5;
 II - то же, по режиму 2-12-1,5;
 III - то же, по режиму 2-14-1,5

оценивать оптимальность режимов тепловлажностной обработки бетона при той или иной продолжительности. Данные для оценки оптимальности режима включены в табл. I.

Т а б л и ц а I
ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ РЕЖИМА

Условный режим	Режим твердения бетона на R_{28} 200, В/Ц 0,6 и цементного камня	Интенсивность отражений J на участке L в точках		Степень гидратации цемента	Прочность пропаренного бетона в %	
		a	b		R_n	J_{R28}
Ц	—	100	100	—	—	—
I	2-7-1,5	79	81	Малая	55	I06
II	2-12-1,5	78	62	Средняя	68	II6
III	2-14-1,5	78	56	Наиб.	72	121

График I и табл. I подтверждают отсутствие деструктивных процессов и уплотнения гелефаз при осуществлении всех представленных режимов, т.к. увеличению степени гидратации всегда соответствует увеличение показателей R_n и J_{R28} .

Оптимальным следует считать режим с продолжительностью 2-14-1,5, т.к. при этом обеспечивается 70% прочности от марочной величины.

Если при удлинении режима тепловлажностной обработки, сопровождающейся увеличением степени гидратации цемента, наблюдается уменьшение % R_n , то можно предполагать наличие деструктивных явлений. Если же при удлинении режима тепловлажностной обработки, сопровождающейся увеличением степени гидратации цемента, наблюдается уменьшение J_{R28} или % R_n и J_{R28} , то можно предполагать уплотнение геля новообразований, режим при этом следует укорачивать. Сравнительная интенсивность изменения прочности пропаренного бетона изучалась с помощью графиков "скорость прохождения ультразвука-возраст бетона" в

пропаренном бетоне и в бетоне того же состава нормального твердения.

При режимах тепловлажностной обработки, не вызывающих деструктивные процессы в теле пропариваемого бетона, имеет место одинаковая интенсивность нарастания прочности пропаренного бетона и бетона нормального твердения. При этом отдельные звенья ломаных линий соответствующих графиков для пропаренного бетона и бетона естественного твердения параллельны.

Режимы, удлиненные против оптимальной продолжительности, ведут к уплотнению геля, препятствующего проникновению воды к цементным зернам. Такое явление вызывает снижение интенсивности нарастания прочности пропаренного бетона во времени. Такие режимы следует укорачивать, т.к. при этом полностью не используются возможности цемента к гидратации. Ультразвуковые испытания осуществлялись при помощи прибора ПИК-7. Коэффициент вариации при определении скорости ультразвука по сериям был в пределах 2,5-5%, при $n = 15$ и надежности $\lambda = 0,95$.

В работе при помощи термогравиметрической установки изучались потери массы цементного камня при прокаливании до 1000°C - ППП_{1000} . Идентичность хода кривой потерь цементного камня 28-суточного естественного твердения и пропаренного после 28-суточной выдержки в нормальных условиях, подтверждалась идентичность структуры и состава их новообразований.

При помощи термогравиметрического метода в работе также оценивалось соотношение гелевой и кристаллической фаз в цементном камне, образующемся при том или ином режиме, по формуле:

$$\% \text{ППП}_{450} = \frac{\text{ППП}_{450}}{\text{ППП}_{1000}} \cdot 100. \quad (2)$$

По П.И.Боженову при 450°C происходят потери свободной влаги, присутствующей в гелеобразных продуктах твердеющего цементного камня. Величина потерь при 450°C в граммах, относенная к общим потерям при 1000°C и выраженная в процентах -

$\% \text{ППП}_{450}$ (2), характеризует глубину и качество процесса структурообразования. Чем больше $\% \text{ППП}_{450}$ в цементном камне, обработанном при разных режимах, тем больше в нем гелефазы. Обычно $\% \text{ППП}_{450}$ нарастает пропорционально длительности режима при прочих равных условиях. Но при режимах сверх оптимальной продолжительности $\% \text{ППП}_{450}$ уменьшается за счет уплотнения геля или его кристаллизации.

Показатель $\% \text{ППП}_{450}$ совместно с другими показателями: $\% R_n$, T_{R28} , степени гидратации и сравнительной интенсивности изменения прочности пропаренного бетона во времени, дает возможность оценивать качество структурообразовательных процессов при том или ином режиме и решать вопрос об оптимальной его продолжительности. По данным табл.2 для бетона, приготовленного на бетонной смеси варианта I можно сделать вывод, что удлинение режима не вызывает деструктивных явлений в теле пропариваемого бетона. Количество гелефазы постоянно увеличивается с увеличением длительности обработки: при 7 часах гелефаза составляет 61,5%, при 10 часах - 63,4%, при 12 часах - 69,5%. Степень гидратации увеличивается соответственно удлинению режимов от 7 до 12 часов. Показатели R_n , T_{R28} с увеличением длительности режима также растут. Интенсивность изменения прочности во времени пропаренного бетона аналогична изменению прочности бетона, твердевшего в нормальных условиях. В бетоне, приготовленном из бетонной смеси варианта II, при 16-часовом режиме имеет место уплотнение гелефазы. Процент ППП_{450} при этом уменьшается до 61,5% с 69,6%. Остальные показатели: $\% R_n$, T_{R28} , показатель четвертой колонки-также уменьшаются, что можно объяснить уплотнением гелефазы с нарушением ее контакта с заполнителем. Последнее положение подтверждается тем, что степень гидратации растет, а $\% R_n$ уменьшается. Оптимальным в этом случае будет 14-часовой режим.

Коэффициент вариации при определении ППП был от 0,9 до 1,8% при $n=2$ и надежности $\lambda=0,95$. Для экспериментальной проверки гипотезы калориметрическим методом изучалось влияние величины В/Ц фактора на скорость массовой гидратации начального периода твердения цемента. В этот период, как известно, получает развитие максимально возможный саморазогрев и интен-

Т а б л и ц а 2

ПРИМЕРЫ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ
ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОГРЕВА БЕТОНА

Изо- про- грев при 80°C	Показатели оценки оптимальности режима			
	%R _n	J _{R28}	интенсивность изменения прочности	степень гидра- тации
I. Бетонная смесь на ШПЦ с η 3,42, ОК 0-2 см, В/Ц 0,42				
7 час	$\frac{162 \cdot 100}{277} = 59$	$\frac{282 \cdot 100}{277} = 103$	Очень хорошая	61,5 Самая малая
10 час	$\frac{216 \cdot 100}{284} = 76$	$\frac{332 \cdot 100}{284} = 117$	Достаточная	63,4 Средняя
12 час	$\frac{209 \cdot 100}{267} = 78$	$\frac{332 \cdot 100}{267} = 124$	Хорошая	69,5 Наибольшая
II. Бетонная смесь на ШПЦ с η 3,42, ОК 5-6 см, В/Ц 0,42				
11 час	$\frac{186 \cdot 100}{320} = 58$	$\frac{302 \cdot 100}{320} = 94$	Достаточная	54,5 Самая малая
14 час	$\frac{214 \cdot 100}{275} = 78$	$\frac{318 \cdot 100}{275} = 116$	Очень хорошая	69,6 Средняя
16 час	$\frac{217 \cdot 100}{317} = 69$	$\frac{319 \cdot 100}{317} = 101$	Хорошая	61,5 Наибольшая

сивное нарастание пластической прочности в системе "вода-цемент". Все особенности цемента, влияющие на ход гидратационных процессов оценивались величиной минералогической характеристики - η , определяемой методом ЦНИПС-2. Использовался калориметр термосного типа. Поддержание температуры воды на заданном уровне в рубашке осуществлялось с помощью электронного реле и терморегулятора. Замер температур в твердеющем цементе производился с помощью термопар. Запись температур производилась автоматически. За счет одинаковых материалов и равной массы всех однотипных деталей калориметров, тепловые значения термосов - θ были близки. При $\eta = 5$ и надежности $\lambda = 0,95$ коэффициент вариации этого показателя был

0,4%. Константы теплоотдачи термосов были также близки; коэффициент вариации при той же надежности составлял 5%. Тепловые значения термосов с цементным тестом определенного В/Ц вычислялись по формуле:

$$C_T = 0,21C + B + C, \quad (3)$$

где $11, B$ - вес цемента и воды, грамм;
 C - тепловое значение собранного термоса, кал/град.

Из формулы (3) видно, что в условиях эксперимента тепло гидратации в системе "вода-цемент" расходовалось в разном количестве только на прогрев воды, т.к. дозировка цемента была постоянной и равной 400 граммам, а дозировка воды менялась при прочих равных условиях от 160 до 240 г. Изменение дозировки воды всегда отражалось на величине максимальной температуры саморазогрева системы "вода-цемент", причем скорость процесса массовой гидратации существенно тормозилась только в случае цементов с $\eta \geq 4$.

В главе IV представлены результаты исследований. При уточнении графиков НИИЖБа по выбору оптимальной продолжительности изотермического прогрева бетона и для экспериментальной проверки положений гипотезы готовились разные варианты состава бетонной смеси, отличающиеся величиной В/Ц фактора, консистенцией и величиной минералогической характеристики цемента- η . Варианты опробованных режимов даны в табл.3. Оптимальность режима оценивалась по показателям R_n , T_{R23} , $\frac{\Delta T_{max}}{T_{max}}$ степени гидратации, сравнительной интенсивности нарастания прочности пропаренного бетона во времени. Примеры выбора оптимальности режимов даны в главе II для бетонов, приготовленных на бетонных смесях варианта I и II (табл.3).

По опробованию режимов сделаны следующие выводы. Продолжительность изотермического прогрева для бетона, приготовленного на любых клинкерных цементах с $\eta < 4$ следует назначать в зависимости от величины консистенции бетонной смеси по графику НИИЖБа 1961 года (рис.2), а на цементах с $\eta \geq 4$ - от величины В/Ц фактора для ПЦ и ШПЦ по графикам НИИЖБ 1964 года (рис.3 и 4).

Интенсивность нарастания прочности бетона при изотермическом прогреве согласно гипотезе на цементах ШЦ или ШПЦ, имеющих $\eta < 4$

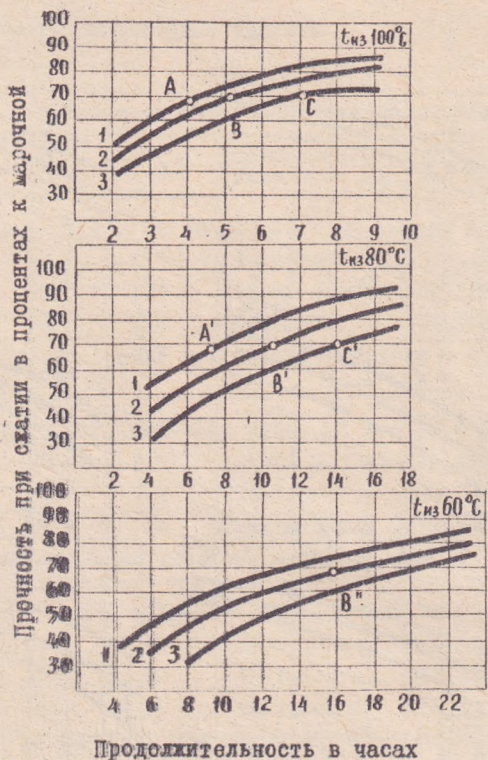


Рис. 2. Для влакнопортландцемента:
 НИЖЕ 1- жесткость более 100 сек;
 19С1 год 2- жесткость 30-60 сек;
 3- осадка конуса более 3 см

Интенсивность нарастания прочности бетона при изотермическом прогреве согласно гипотезе на цементах, имеющих $\eta \geq 4$

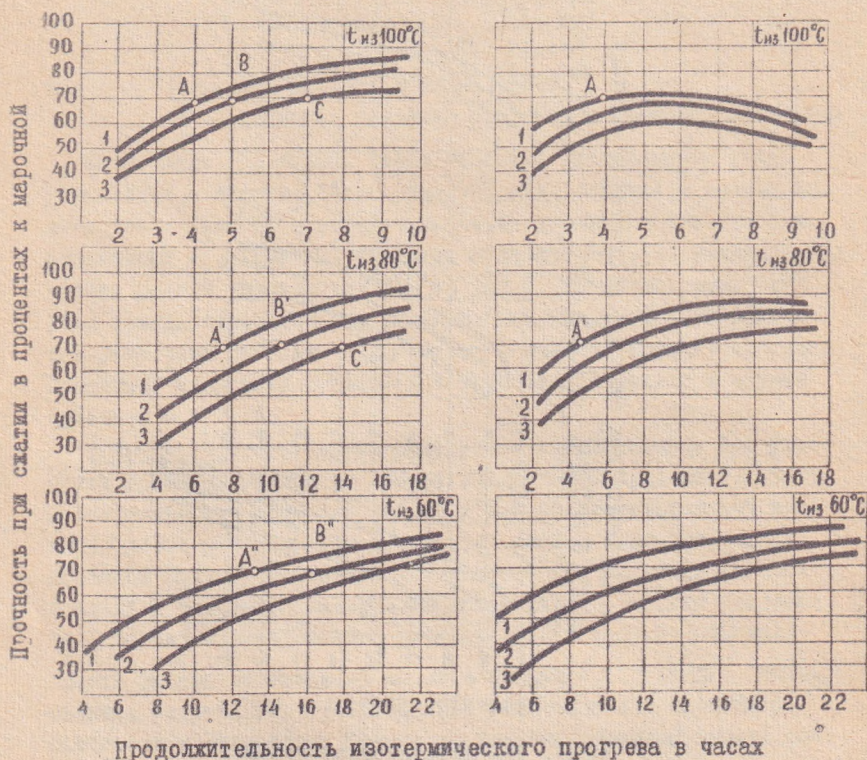


Рис.3. Для шлакопортландцемента. Рис.4 Для портландцемента

НИИЖБ 1-В/Ц 0,4;
1964 год 2-В/Ц 0,5;
3-В/Ц 0,6

НИИЖБ 1-В/Ц 0,4;
1964 год 2-В/Ц 0,5;
3-В/Ц 0,6

Т а б л и ц а 3

ВАРИАНТЫ ОПРОВОБАННЯ РЕЖИМОВ

№ серии и режима	Изопрогрев при 80°С	Показатели оценки оптимальности режима			
		%R _n	Ж ₂₃	интенсивность изменения R _г	ППМ ₄₅₀ %

ШПЦ партии I с η 3,42, бетонная смесь ОК 0-2 см и В/Ц 0,49						
2	10 час	76	117	Достаточная	63,4	Средняя
3	7 час	59	103	Очень хорошая	61,5	Наименьш.
4	12 час	78	124	Хорошая	69,5	Наибольш.

С экономической точки зрения и согласно гипотезе - оптим. 10 час. (рис.2, точка В')

ШПЦ партии I с η 3,42, бетонная смесь ОК 5-6 см и В/Ц 0,49						
6	14 час	78	116	Очень хорошая	69,6	Средняя
7	16 час	69	101	Хорошая	61,5	Наибольш.
5	11 час	58	94	Достаточная	54,5	Наименьш.

Оптимальный режим согласно гипотезе - 14 час. (рис.2, точка С')

ШПЦ партии II с η 2,97, бетонная смесь ОК 0-2 см и В/Ц 0,60						
8	4 час	34	90	Достаточная	51,1	Наибольш.
9	7 час	43	92	Достаточная	54,3	Наименьш.
10	9 час	49	99	Достаточная	56,1	Средняя

Все режимы по продолжительности недостаточны. Согласно гипотезе оптимальный - 10 час. (рис.2, точка В')

ШПЦ партии III с η 4,63, бетонная смесь ОК 0-2 см и В/Ц 0,60						
11	10 час	60	103	Достаточная	60	Одинаков.
12	12 час	68	116	Достаточная	70,3	Одинаков.
13	7 час	55	106	Достаточная	57,0	Наименьш.

Все режимы по продолжительности недостаточны. Согласно гипотезе оптимальный - 14 час. (рис. 3, точка С')

Продолжение табл.3

№ серии и режима	Изопрогрев при 80°C	Показатели оценки оптимальности режима				
		% k_n	T_{a23}	интенсивность изменения	ΔT_{450} %	степень гидратации
ШПЦ партии III с η 4,63, бетонная смесь ОК 3-4 см и В/Ц 0,60						
I5	I4 час	72	I21	Достаточная	65,3	Одинаков.
I6	I6 час	71	I20	Хорошая	59,4	Одинаков.
I7	II час	64	I24	Достаточная	53,0	Одинаков.
Оптимальный режим согласно гипотезе - I4 час (рис.3, точка С')						
ШПЦ партии IV с η 6,80, бетонная смесь ОК 0-2 см и В/Ц 0,62						
I8	I0 час	62	I07	Достаточная	50,5	Одинаков.
I9	I2 час	62	I02	Достаточная	59,9	Одинаков.
20	7 час	36	95	Достаточная	-	Одинаков.
Оптимальный согласно гипотезе - I4 час (рис.3, точка С')						
ШПЦ партии IV с η 6,80, бетонная смесь ОК 3-4 см, В/Ц 0,62						
21	I4 час	63	III	Очень хорошая	56,8	Одинаков.
22	II час	52	I09	Очень хорошая	56,0	Одинаков.
23	I6 час	68	I23	Очень хорошая	58,0	Одинаков.
С экономической точки зрения и согласно гипотезе оптимальный режим - I4 час (рис.3, точка С')						

Таким образом, положения рабочей гипотезы подтвердились с разными вариантами бетонной смеси. Полученные выводы по назначению режимов тепловлажностной обработки, были проверены на 38 режимах для 21 варианта составов бетонной смеси, представленных в литературе (точки А, В, С, А', В', С', А'', Б" - рис.2-4). Проверка подтвердила правильность полученных нами выводов по выбору оптимальной продолжительности изотермического прогрева.

На основании выявленной зависимости оптимальной продолжительности изотермического прогрева от величины В/Ц фактора или консистенции бетонной смеси разработана методика проектирования режимов тепловлажностной обработки изделий из тяжелого бетона

ДААНЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ ПОЛУЧЕННЫХ ВЫВОДОВ ПО НАЗНАЧЕНИИ
РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ

№ партии; вид цемента и характера критерия стойкости смеси	Наименование изотер- мического прогрева и его длительность в часах $t 80^{\circ}\text{C}$	Прочность бетона на сжатие кгс/см ²		Показатели оптимальности	
		R_n	R_{n+28}	R_{28}	$\%R_n$
Цемент У Щ ОК 0-2 см	Оптимальный согласно I 0	200	340	251	$200 \cdot \frac{100}{251} = 78$
					$240 \cdot \frac{100}{251} = 135$
Щ Цемент УТ БЩ ОК 3-4 см	Оптимальный согласно I 4 удлиненный на 2 часа I 6	286	433	347	$286 \cdot \frac{100}{347} = 82$
		226	435	376	$226 \cdot \frac{100}{376} = 60$
Щ Цемент УП Щ ОК 3-4 см	Оптимальный согласно I 4	238	392	340	$238 \cdot \frac{100}{340} = 70$
		277	383	319	$277 \cdot \frac{100}{319} = 87$
					$383 \cdot \frac{100}{319} = 120$

ЖР28

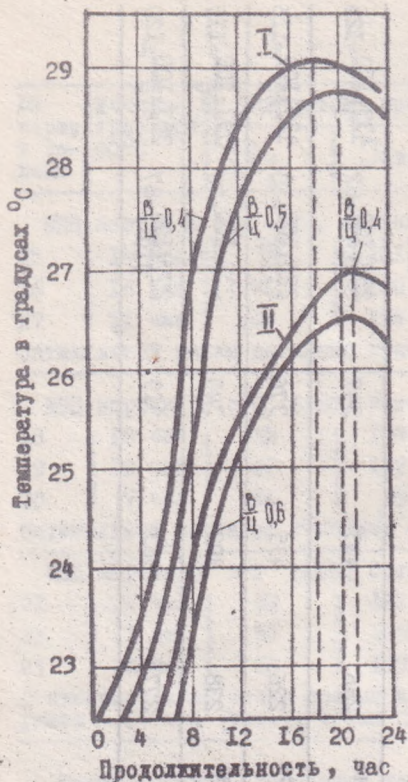


Рис. 5. Скорость массовой гидратации цемента
 I-цемент с η 4,90;
 II-цемент с η 3,24

демент" и скорость максимального саморазогрева за счет массовой гидратации. Определение скорости массовой гидратации проводилось на цементах семи партий с двумя вариантами величины В/Ц фактора - 0,4 и 0,6 или 0,4 и 0,5. Результаты испытания сведены в графики, часть из которых представлена на рис. 5. График рис. 5 показывает, что для цемента I с η 4 скорость массовой гидратации зависит от величины В/Ц фактора и процесс мак-

в безнапорных камерах, исключая длительные опробования.

Разогрев и охлаждение, выбор предельной температуры при этом назначаются по рекомендациям НИИЖБа. Разработанные рекомендации были опробованы в условиях лаборатории на трех партиях цемента. Для надежности получаемых результатов, кроме оптимальных режимов, задавались режимы, удлиненные на два часа. Данные экспериментальной проверки представлены в табл. 4, где видно, что заданные по разработанной методике режимы оптимальны.

При помощи калориметрического метода были сделаны попытки также экспериментально подтвердить положения рабочей гипотезы. Для этого изучалось влияние В/Ц фактора на скорость начального периода гидратации, который обеспечивает нарастание пластической прочности системы "вода-

симального саморазогрева при В/Ц 0,4 завершается за 18 часов, а при В/Ц 0,5 - за 20 часов, тогда как для цемента П с $\eta < 4$ скорость массовой гидратации не зависит от величины В/Ц фактора. Появление саморазогрева при В/Ц 0,6 и В/Ц 0,4 происходит через 21 час. Следовательно, положения рабочей гипотезы получили подтверждение и этим методом.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в условиях завода своевременно учесть все особенности поведения цемента при назначении режимов тепло-влажностной обработки методом непосредственных предварительных опробований согласно действующим инструкциям практически невозможно. За период, необходимый для проверки назначаемых режимов, на заводах успевают израсходовать всю партию цемента, на которой велось опробование, так как продолжительность его превышает длительность внутриводской переработки цемента.

Применение режимов, отличающихся от оптимальных, часто приводит к ухудшению качества пропариваемых изделий или к неоправданному удлинению цикла тепловлажностной обработки, что, в свою очередь, ведет к перерасходу цемента или пара.

2. Предложен и использован метод для оценки структурообразующих процессов в пропаренном бетоне с помощью рентгенограмм цемента и цементного камня, а также показателей R_n , T_{225} , характеризующих соответственно долю прочности пропаренного бетона от марочной величины и интенсивность его твердения к 28 суткам.
3. Установлено, что при исследовании оптимальности режимов тепловлажностной обработки интенсивность изменения во времени прочности образцов пропаренных и нормального хранения удобно оценивать по графикам "скорость ультразвука-возраст".
4. Показано, что для исследования оптимальности тепловлажностной обработки возможно использовать отношение $\Pi\Pi\Pi$ при 450°C к $\Pi\Pi\Pi$ при 1000°C для суждения о соотношении гелевой и кри-

сталлической фаз в цементном камне. Этот показатель совместно с $\% R_n$ и $T_{гг}$ дает возможность оценивать развитие структурообразующих процессов во времени.

5. Предложена формулировка оптимального режима, согласно которой оптимальным следует считать такой, возможно короткий при данных условиях режим, который обеспечивает бетону не только прочность, запроектированную непосредственно после пропаривания, но и марочную к 28 суткам, а также гарантирует нарастание прочности в последующее время.
6. Получено новое представление о зависимости оптимальной продолжительности изотермического прогрева пропариваемого бетона от величины В/Ц фактора и консистенции бетонной смеси, и экспериментально доказано, что оптимальная продолжительность изотермического прогрева бетона, приготовленного на цементе с $\eta \geq 4$, зависит от величины В/Ц фактора, тогда как для бетонов, приготовленных на цементе с $\eta < 4$ — от консистенции бетонной смеси.
7. На основе выявленной зависимости оптимальной продолжительности изотермического прогрева от величины В/Ц фактора или консистенции бетонной смеси разработана методика проектирования режимов тепловлажностной обработки изделий из тяжелого бетона в безнапорных камерах, исключая длительные опробования.
8. Найденные зависимости можно использовать при нахождении оптимальных режимов термообработки тяжелого бетона в ямных, тоннельных камерах, кассетных и других установках, работающих при обычном давлении, и температурах не выше 100°C .
9. Внедрение разработанных рекомендаций по проектированию оптимальных режимов не требует дополнительных затрат и длительных опробований и делает тепловлажностную обработку регулируемым процессом, позволяя получать бетон гарантированной прочности, ликвидируя неоправданные перерасходы цемента и задержку камер пропаривания.

10. Эффект внедрения оптимальных режимов тепловлажностной обработки, по данным завода ЖБИИ Ордена Ленина строительного треста № 42, только для марки бетона 300 составляет около 4% от его общей стоимости.

Основные положения диссертации опубликованы
в следующих статьях:

1. Шумилин Ф.Г., Блявштейн Н.П., Пеккер В.И. Назначение режимов тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий с учетом минералогической характеристики цемента. Сборник "Энергетическое строительство", № 12, М., 1966.
2. Блявштейн Н.П., Пеккер В.И. Изучение степени гидратации цемента методом рентгеноструктурного анализа, Сборник научных трудов ЧПИ, № 64, Челябинск, 1967.
3. Пеккер В.И. Блявштейн Н.П. Исследование теплового режима в ямных камерах завода. Сборник научных трудов ЧПИ, Челябинск, № 64, 1967.
4. Блявштейн Н.П., Шумилин Ф.Г. Исследование возможности назначения режимов тепловлажностной обработки бетона в безнапорных камерах без длительных предварительных опробований. Тезисы докладов второй научно-технической конференции УПИ, Свердловск, 1968.
5. Блявштейн Н.П. Влияние В/Ц фактора на скорость массовой гидратации цемента. Сборник научных трудов ЧПИ, № 73, Челябинск, 1969.
6. Шумилин Ф.Г., Блявштейн Н.П., Пеккер В.И. Рекомендации по назначению оптимальной продолжительности тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий в безнапорных ямных камерах. ЧПИ, Главвузстрой, Челябинск, 1970.

Материалы диссертации докладывались и
получили одобрение:

1. На научно-технических конференциях ЧПИ: ХУШ - 1965 г.,
ХІХ - 1966 г., ХХІ - 1968 г., Челябинск.
2. На техническом совете треста "Оргтехстрой" Главбухрал-
строя в 1966 и в 1970 г., Челябинск.
3. На II научно-технической конференции УПИ, 1968, Свердловск.
4. На семинаре "Автоматизация тепловлажностной обработки желе-
зобетонных изделий", организованном Главбухралстроем в
1968 г. в г. Миассе.

Тех.редактор Прокофьева Т.И.

ФБ 07645 - 23/IX-70г. Слано в печать 25/IX-70г. Формат бумаги 80x90 1/16.
Объем 1,75 п.л., 1,4 уч-изд. дист. Отпечатано на "Ротаярияте" ЧПИ. Тираж
120 экз. Заказ № 233.