

5. Сухов, Ю.В. Заменитель извести в строительных растворах / Ю.В. Сухов, С.Ф. Коренькова, Т.В. Шейна // Строительные материалы – 1989 – № 1. – С. 14–15

6. Коренькова, С.Ф. Шламы гальванических производств – добавка в цементные материалы / С.Ф. Коренькова, Ю.В. Сухов, Т.В. Шейна // Строительные материалы и конструкции – 1992 – № 2. – С. 12–14.

7. Проскурина, И.И. Использование шламов водоочистки / И.И. Проскурина, С.В. Свергузова // Строительные материалы. – 2006. – № 4 – С. 66–67.

8. Водоподготовка: процессы и аппараты / Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П., под ред. О.И. Мартиновой. – М.: Энергоиздат, 1990 – 272 с

УДК 666.972

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Суходоева Н.В., Бибик М.С., Бабицкий В.В.

**Введение.** Что должен сделать инженер-технолог после тепловой обработки изделий для обеспечения заданных характеристик бетона? Во-первых, рассчитать состав бетона, а, во-вторых, уже основываясь на особенностях состава, назначить соответствующий режим тепловой обработки.

Какими при этом общими принципами технолог руководствуется? При проектировании состава бетона должны быть обеспечены проектные требования к бетону, марка бетонной смеси по удобоукладываемости. Реже учитывается цена получаемого бетона. А при назначении режима тепловой обработки бетона основная задача – обеспечить его заданную отпускную прочность. Для этого можно воспользоваться опытом производства изделий на данном предприятии, графиками, таблицами, текстовым материалом, содержащимися в различных источниках, например в [1-3] или в ТКП 45-5.03-13-2005 «Изделия бетонные и железобетонные сборные. Правила тепловлажностной обработки». О расходах же теплоносителя обычно речь идет только из общих соображений, например, что термосный режим более экономичен, чем традиционный. Конкретные же стоимостные расчеты не ведутся.

Можно ли такой назначенный режим тепловлажностной обработки бетона назвать оптимальным, то есть наилучшим (от латинского «optimus»)? Безусловно нет. Отрасль сборного железобетона сможет выжить только существенно сократив достаточно существенные энергетические затраты. А выполнить это, не считая каждый килограмм цемента и каждую калорию теплоты, невозможно. Следовательно, остро назрела разработка новых методов проектирования как состава бетона, так и режима тепловлажностной обработки изделий, позволяющих учесть все многообразие влияющих факторов.

**Оптимизация режима тепловой обработки.** Представленная на рис. 1 схема расчета показывает, каким образом поставленная задача может быть решена. Схема на рис. 2 конкретизирует последовательность расчетов прочности бетона в процессе тепловой обработки. Естественно, реализация предположенного алгоритма, основанного на сложной математической модели потребовала разработки соответствующего программного обеспечения. Варьируя многочисленные влияющие факторы, инженер-технолог оптимизирует как состав бетона, так и режим тепловлажностной обработки изделий, добываясь обеспечения не только проектных характеристик бетона, но и минимально возможной суммарной цены на бетонную смесь и расход пара.



Рисунок 1 – Схема оптимизации режима тепловлажностной обработки бетона

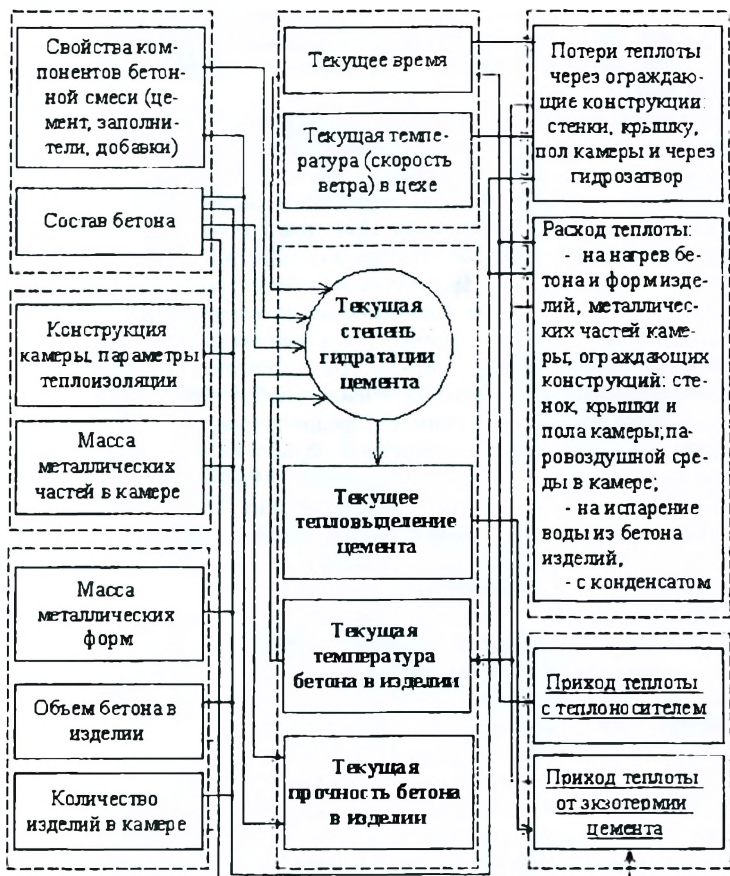


Рисунок 2 Схема расчета прочности бетона при твердении в ямной пропарочной камере

Апробация в условиях производства. Работа не была бы законченной, если бы не прошла соответствующую апробацию на предприятиях по производству сборного железобетона. В качестве объекта внедрения предложенной методики оптимизации режимов тепловлажностной обработки тяжелого бетона выбран ОАО «Завод ЖБИ № 1», на котором достаточно смело реализуются новые веяния в технологии бетона. В частности, для производства пустотных мелкоштучных блоков из арболита налажена утилизация собственных отходов деревообработки. Часть пропарочных камер на заводе реконструирована посредством утепления наружных ограждающих конструкций, выполненных из тяжелого бетона. Это реализовывалось посредством кладки пустотелых блоков из арболита на всю высоту ямных пропарочных камер. Во избежание намокания полученного термоизоляционного слоя вследствие контакта с паром и водой и повышения вследствие чего коэффициента теплопроводности, кладка зашивалась металлическими листами. Казалось бы, что может дать такая примитивная (на первый взгляд)

термоизоляция в сравнении с широко рекламируемыми современными материалами. Однако, как показано в таблице, налицо существенный экономический эффект, позволяющий быстро окупить затраты, учитывая низкую стоимость арболитобетонных блоков.

Часть пропарочных камер пока не подверглась реконструкции. И это даст возможность сопоставлять рассчитываемые режимы тепловой обработки бетона с реальными как в обычных камерах, так и с повышенной тепловой защитой.

Уже начаты эксперименты по апробации рассчитанных по предложенной схеме режимов тепловой обработки. При этом контролируется температура бетона железобетонных изделий в центре и на поверхности, для чего применяются датчики температуры DS 1921 системы «Термохрон», устанавливаемые в тело бетона. Кроме того, ведется наблюдение за температурой среды в камере и температурой вне камеры, оценивается конечная прочность бетона изделий. Полученные первоначальные результаты позволяют оценивать перспективы разработанного программного обеспечения как благоприятные.

Рассмотрим конкретный пример. Предположим, необходимо спроектировать состав и режим тепловлажностной обработки изделия, выполненного из бетона класса С12/15 по прочности на сжатие. Марка бетонной смеси по удобоукладываемости П1, отпускная прочность бетона 70%. Используемый цемент: марки 500 первой группы эффективности при пропаривании. Цена 1 т цемента составляет около 72 у.е./т, а пара – около 32 у.е./Гкал.

Применительно к нормативному коэффициенту вариации требуемая прочность бетона в возрасте 28 суток составляет 19,3 МПа, а отпускная – 13,5 МПа. Рассмотрим несколько различных вариантов решения задачи. В принципе, нам не столь важно, каким образом через 4 часа после окончания тепловой обработки будет получена прочность 13,5 МПа. Для этого можно подобрать достаточно длительный высокотемпературный режим тепловой обработки. А можно уменьшить водоцементное отношение бетонной смеси (увеличив расход цемента или применив пластифицирующую добавку с целью снижения водосодержания смеси), существенно сократив длительность изотермической выдержки или уменьшив температуру изотермической выдержки. Результаты различных вариантов решения задачи приведены в таблице, причем разительно широкий диапазон водоцементных отношений дан не для практической реализации, а для наглядности. Составы бетона (в примере без химических добавок) рассчитывались в соответствии с [4], режимы тепловой обработки в зависимости от предположительной прочности бетона назначались согласно рекомендациям, приведенным в [3]. Расчеты расхода тепловой энергии производились с использованием компьютерной программы, частично описанной в [5].

Полученные результаты наглядно показывают, что, варьируя исходными данными, можно получить множество вариантов решения задачи, выбрав из него оптимальный. Кстати, при уравнивании стоимости 1 т цемента и 1 Гкал пара (вариант в таблице не отражен) суммарная стоимость становится практически независимой от состава и режима.

**Заключение.** Предложенная методика дает возможность проектировать режимы тепловлажностной обработки бетона, оптимальные не только с точки зрения получения бетона с заданными физико-механическими характеристиками, но и его стоимости.



Характеристики	Варианты		
	1	2	3
Водоцементное отношение	0,88	0,60	0,50
Расход цемента, кг	200	290	350
Требуемая прочность бетона в проектном возрасте, МПа	19,3	28,9	38,6
Требуемая отпускная прочность бетона, МПа	13,5	13,5	13,5
Время предварительной выдержки изделий, ч	2	2	2
Время подъема температуры, ч	3	2	1
Время изотермической выдержки изделий, ч	12	5	5
Температура изотермической выдержки изделий, °С	80	60	40
Расход тепловой энергии пара в обычной камере, Гкал/м <sup>3</sup> бетона	0,308	0,173	0,08
Расход тепловой энергии пара, в камере, утепленной арболитобетонными блоками, Гкал/м <sup>3</sup> бетона	0,220	0,127	0,055
Стоимость цемента, у.е./м <sup>3</sup> бетона	14,3	21,0	25,2
Стоимость тепловлажностной обработки изделий в обычной камере, у.е./м <sup>3</sup> бетона	10,0	5,6	2,6
Стоимость тепловлажностной обработки изделий в камере, утепленной арболитобетонными блоками, у.е./м <sup>3</sup> бетона	7,1	4,1	1,8
Суммарная стоимость цемента и тепловлажностной обработки изделий в обычной камере, у.е./м <sup>3</sup> бетона	24,3	26,6	27,8
Суммарная стоимость цемента и тепловлажностной обработки изделий в камере, утепленной арболитобетонными блоками, у.е./м <sup>3</sup> бетона	21,4	25,1	27,0

#### Список цитированных источников

1. Малинина, Л.А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. – М.: Стройиздат, 1977 – 160 с.
2. Миронов, С.А., Френкель, И.М., Малинина, Л.А. и др. Рост прочности бетона при пропаривании и последующем твердении. – М.: Стройиздат, 1973. – 96 с.
3. Производство сборных железобетонных изделий: Справочник / Г.И. Бердичевский, А.П. Васильев, Л.А. Малинина [и др.]; под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с.
4. Бабицкий, В.В., Ковалев, Я.Н. Многофакторное проектирование состава бетона // Материалы, технологии, инструменты – 2005 – № 1. – С. 67–71.
5. Бабицкий, В.В., Суходоева, Н.В. Элементы проектирования режима тепловлажностной обработки бетона // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XV Международного научно-методического семинара – Новополоцк, 2008 – С. 139–143.

УДК 691.327:66.04

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОЛИГОННЫХ ПРОПАРОЧНЫХ КАМЕР НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ

Бибик М.С.

**Введение.** Проблема энергосбережения в республике в последние годы приобретает все большую остроту и актуальность. Народнохозяйственное значение данной проблемы подтверждается утвержденными Указом Президента Республики Беларусь от 25 августа 2005 года № 399 «Концепцией энергетической безопасности и повы-