

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-

шения энергетической независимости Республики Беларусь» и Государственной комплексной программой модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования собственных топливно-энергетических ресурсов на период 2006–2010 годы.

Задачи, поставленные в данной программе, в значительной степени касаются предприятий строительной индустрии, характеризующихся значительным энергопотреблением. Так, даже в сравнительно «благополучные» доперестроенные годы только на заводах сборного железобетона СССР на технологические нужды, отопление, горячее водоснабжение и вентиляцию зданий расходовалось более 12 млн. тонн условного топлива, причем на долю тепловой энергии приходилось почти 90%, а на долю электрической – немногим более 10%. Из общей потребности тепловой энергии около 70% расходовалось на тепловую обработку изделий, подогрев заполнителей, воды затворения и смазки для форм, т.е. на технологию производства [1]. По данным Л.А. Малининой [2], абсолютные затраты условного топлива на различные технологические переделы заводского производства изделий были сравнительно невелики и составляли (за исключением термообработки) 18,5 кг условного топлива на 1 м<sup>3</sup> изделий. В то же время на тепловую обработку затрачивалось 30–50 кг, т.е. в 2–2,5 раза больше, чем на все остальные переделы производства [2].

Из приведенных данных следует, что снижения энергопотребления при тепловой обработке изделий на основе применения эффективных химических добавок, оптимизации режимов термообработки, применения мягких, термосных и частично-термосных режимов и сокращения теплотерь за счет утепления ограждающих конструкций пропарочных камер и паропроводов является важнейшим направлением энергосбережения на предприятиях стройиндустрии.

Особенностью Минского завода сборного железобетона №1 является то, что производство основных объемов продукции осуществляется на полигонах под открытым небом, а тепловая обработка изделий производится в ямных пропарочных камерах полигонного типа. За время многолетней эксплуатации камер в подобных условиях значительно снизились теплозащитные свойства их ограждающих конструкций и возросли теплотери, в связи с чем даже в условиях применения оптимальных режимов тепловлажностной обработки изделий и конструкций и эффективных химических добавок в отдельных пропарочных камерах не обеспечивалось достижение требуемой прочности бетона. Это вызвало необходимость оперативного обследования и оценки реальных температурных режимов в камерах, на основе чего принималось решение о необходимости проведения работ по их утеплению. При этом для утепления стенок камер взамен отслужившей свой срок минераловатной теплоизоляции было предусмотрено устройство утепления путем устройства с внутренней стороны камеры стенки из арболитовых пустотных мелкоштучных блоков, уложенных в один ряд.

**Методика оценки температурных режимов.** Для оценки фактических температурных режимов в ямных пропарочных камерах на полигонах завода были использованы специальные датчики-«таблетки» – измерители-регистраторы DS 1921 системы температурного мониторинга «Термохрон». Этот датчик представляет собой устройство-регистратор, позволяющее в течение всего цикла термообработки регистрировать температуру, измеренную через определенные, заранее заданные промежутки времени и сохранять полученную информацию в собственной энергонезависимой памяти [3]. Благодаря своим миниатюрным размерам и конструктивному исполнению, его можно легко разместить или прикрепить к ос-

настке пропариваемого изделия в труднодоступных местах пропарочной камеры. Датчик является полностью автономным экономичным устройством, питание всех узлов которого обеспечивается миниатюрной литиевой батареей, емкости которой хватает для непрерывной эксплуатации «таблетки» DS 1921 в течение 8-9 лет. Наряду с батареей, в корпусе датчика имеются точные часы-календарь, с помощью которых для каждого измеренного значения температуры фиксируется время ее замера в соответствии с заданной программой, в связи с чем информация, накопленную этими регистраторами, невозможно исказить, и пользователь видит полную картину изменения температуры в пропарочной камере.

Крепление регистраторов DS 1921 в пропарочных камерах осуществлялось с использованием пластиковых брелков (брелок с «таблеткой» DS 1921 подвешивался за выступы внутри камеры или крепился к элементам оснастки).

Перед установкой датчиков в пропарочной камере их программировали. Для этого датчик устанавливали в присоединенный к компьютеру адаптер и с использованием программы DS 1921 задавали основные параметры температурного мониторинга (момент начала замеров и временной интервал между ними, после чего запрограммированные датчики устанавливали в пропарочных камерах. По окончании процесса тепловлажностной обработки их извлекали из пропарочных камер и, поочередно устанавливая в адаптер, с помощью компьютера считывали информацию.

На первом этапе исследований была выполнена оценка фактических температурных режимов тепловлажностной обработки, причем, в первую очередь были обследованы камеры, в которых осуществляется изготовление и термообработка свай, составляющих значительную долю от общего объема выпускаемых железобетонных изделий и конструкций, и для которых должна быть обеспечена после термообработки 100%-ная отпускная прочность. Температурный мониторинг осуществляли как для условий 0,5 и 1 оборота камер в сутки, так и для условий термосного выдерживания изделий в течение нескольких суток в выходные и праздничные дни при различной температуре наружного воздуха в диапазоне 23–25°C...8–11°C днем и 16°C...3–4°C ночью, соответственно. Датчики DS 1921 крепили к формам пропариваемых изделий по три датчика в каждой камере. Все датчики располагали по высоте на уровне верха формы, а в плане – по продольной оси камеры: один по центру и два по краям камеры, на расстоянии 0,5м от ее краев. Пропаривание изделий осуществляли в ручном режиме: в 22:00 включали подачу пара, в 5:00 подачу пара прекращали. Результаты температурного мониторинга процесса тепловлажностной обработки по некоторым камерам до и после их утепления приведены в таблице 2.

Данные температурного мониторинга и их анализ. Анализируя данные температурного мониторинга в неутепленных пропарочных камерах, можно отметить следующее. Из сравнения температурных режимов в камере №2 при двух значениях температуры наружного воздуха ( $t_{нар\ вожд}$ ) – 14–16/11–13°C и 23–25/16°C (над чертой – дневная, под чертой – ночная температура) видно, что при более высокой температуре наружного воздуха закономерно более интенсивно происходил подъем температуры в камере и более плавным было ее снижение после отключения подачи пара. В частности, при  $t_{нар\ вожд} = 23–25/16°C$  температура в камере за 1час повысилась с 38 до 70°C, т.е. на 32°C, а при  $t_{нар\ вожд} = 14–16/11–13°C$  – с 38 до 53°C, т.е. на 15°C, а в конце периода подъема температуры ее величина ( $t_{макс}$ ) при  $t_{нар\ вожд} = 23–25/16°C$  была выше, чем при  $t_{нар\ вожд} = 14–16/11–13°C$  и составляла 85°C против 81,5°C. В процессе охлаждения

после прекращения подачи пара снижение температуры в камере при  $t_{нар\ водл} = 23-25/16^{\circ}\text{C}$  происходило менее интенсивно, чем при  $t_{нар\ водл} = 14-16/11-13^{\circ}\text{C}$ : через 2 часа после отключения пара температура в камере при  $t_{нар\ водл} = 23-25/16^{\circ}\text{C}$  снизилась с 85 до 73,5°С или на 11,5°С в то время, как при  $t_{нар\ водл} = 14-16/11-13^{\circ}\text{C}$  она снизилась с 81,5 до 56,5°С или на 25°С.

Сравнение температурных режимов в неутепленных пропарочных камерах №№ 7 и 10 при одинаковой температуре наружного воздуха  $t_{нар\ водл} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  показывает, что в камере № 10 наблюдался более резкий подъем температуры и более интенсивное ее снижение после прекращения подачи пара. В частности, снижение температуры составляло: через 1 час: в камере № 10 – с 72 до 61°С или на 11°С, а в камере № 7 – с 70,5 до 64°С или на 6,5°С; через 5 часов: в камере № 10 – с 72 до 39°С или на 33°С, а в камере № 7 – с 70,5 до 52,5/49,5°С или на 21°С, что свидетельствует о том, что теплозащитные свойства ограждающих конструкций камеры № 10 ниже, а теплотери выше по сравнению с камерой № 7. Интенсивное снижение температуры в период охлаждения было зафиксировано также и в других неутепленных камерах. В частности, через 1 час после прекращения подачи пара температура в камере № 1 снизилась по сравнению с  $t_{макс}$  в этой камере на 14°С, в камере № 8 до ее утепления – на 14°С, в камере № 11 до ее утепления – на 20,5°С, а через 5 часов снижение температуры в этих камерах составило 35°С, 24,5°С и 32°С, соответственно. Очевидно, что этим в значительной степени обусловлены пониженные значения относительной прочности бетона после термообработки, составившие для камер №№ 1, 7, 10, соответственно, 60, 64,4 и 62,3% от марочной.

Для снижения теплотерь и повышения эффективности тепловой обработки изделий на нескольких камерах было выполнено утепление стенок путем устройства утепляющего слоя кладки из арболитовых пустотных мелкоштучных блоков с последующей зашивкой стальным листом для защиты блоков от увлажнения, после чего был проведен мониторинг температурных режимов в этих камерах.

В таблице 1 представлены полученные данные для некоторых камер при одинаковой и разной температуре наружного воздуха до и после их утепления. На основании анализа данной таблицы можно отметить следующее. Сравнение данных по изменению температуры в утепленной камере № 4 при различной температуре наружного воздуха  $t_{нар\ водл}$  для режима термообработки, при котором после изотермического прогрева при  $t_{макс} = 85^{\circ}\text{C}$  изделия подвергались термосному охлаждению (при  $t_{нар\ водл} = 18-20/10^{\circ}\text{C}$  – 26 часов, при  $t_{нар\ водл} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  – 33 часа) показывает, что, как и в неутепленных камерах, при более низкой  $t_{нар\ водл}$  снижение температуры в камере протекает интенсивнее: через 1 час после прекращения подачи пара при  $t_{нар\ водл} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  температура в камере снижалась на 12,5°С, а при  $t_{нар\ водл} = 18-20/10^{\circ}\text{C}$  – на 7°С, а через 5 часов – на 28 и 21°С, соответственно. К концу термосного охлаждения влияние температуры наружного воздуха более ощутимо: при  $t_{нар\ водл} = 18-20/10^{\circ}\text{C}$  и длительности термосного охлаждения в течение 26 часов температура в камере перед открыванием крышки составила 41°С, а относительная прочность бетона после термообработки – 97,6% от марочной, в то время, как при  $t_{нар\ водл} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C}$  и длительности термосного охлаждения 33 часа – 31°С и 71,6% от марочной, соответственно.

Сравнение температурных режимов в утепленных камерах №№ 11 и 8 при одинаковой температуре наружного воздуха  $t_{нар\ водл} = 10-12/1^{\circ}\text{C}$  при разных режимах ТВО (изделия в камере № 11 после изотермического прогрева подверга-



ли термосному охлаждению в течение 25 часов, а в камере № 8 – термообработка заканчивалась через 3 часа (охлаждения) показывает, что до момента прекращения подачи пара нет существенных отличий в изменении температуры в обеих камерах, кроме более резкого ее подъема в камере № 8. Однако за счет длительного термосного охлаждения в камере № 11 обеспечена более высокая относительная прочность бетона – 94,3% против 88% от марочной.

Таблица 1 – Сравнительные данные по интенсивности снижения температуры в неутепленных и утепленных пропарочных камерах (по данным температурного мониторинга)

Характеристики температурного режима	Номера камер и наличие утепления								
	№1 (неутепл.)	№7 (неутепл.)	№10 (неутепл.)	№8		№11		№4 (утепл.)	
				до	после	до	после		
				утепления		утепления			
Температура наружного воздуха ( $t_{\text{вн}}$ ), °С	0- (+2) (- 4)	8-11 3-4	8-11 3-4	17-19 13	10-12 1	17-19 13	10-12 1	18-20 10	
Температура в камере в момент включения подачи пара ( $t_0$ ), °С	14	17	22,5	28	21,5	25	23	35	
Максимальная температура в камере в конце периода ее подъема ( $t_{\text{max}}$ ), °С	85	70,5	72	68	83	69,5	72,5	85	
Температура в камере в момент открывания крышки камеры, °С	50	28	31,5	29,5	69,5	26	35	41	
Время от начала охлаждения до открывания крышки камеры, ч	5	33	15	7	6	26	25	26	
Снижение температуры в камере после прекращения подачи пара: над чертой – температура $t_1$ , °С, под чертой – величина ее снижения ( $t_{\text{max}}$ – $t_1$ )/ $t_{\text{max}}$ , %, через:	1ч.	71/ 16,5	56,5/ 19,2	61/ 15,3	54/ 20,6	75,5/ 9	49/ 29,5	68/ 6,2	78/ 8,2
	5ч.	50/ 41,2*	46/ 34,8	37,5/ 47,9	43,5/ 36	70/ 15,7	37,5/ 46	49,5/ 31,7	62/ 27,1
	10ч.	-	38,5/ 45,4	32,5/ 54,9	-	-	33,5/ 51,8	46,5/ 35,9	56,5/ 33,5
	15ч.	-	37/ 47,5	31,5/ 56,3*	-	-	31,5/ 54,7	42/ 42,1	51/ 40
	25ч.	-	31,5/ 55,3	-	-	-	26,5/ 61,9	35/ 51,7*	41,5/ 51,2
	33ч.	-	28/ 60,3*	-	-	-	-	-	-
относительная прочность бетона после тепловлажностной обработки, % от марочной	60	64,4	62,3	86	88	72	94,3	97,6	

\*) На момент открывания крышки камеры

С целью оценки эффективности выполненного утепления камер в таблице 1 приведены сравнительные данные по температурным режимам в камерах №№ 8 и 11 до и после утепления и данные по изменению температуры в утепленных камерах №№ 4, 8, 11 в период охлаждения. Как видно из приведенных данных, характер и значения температур в камере № 8 при различной температуре наружного воздуха близки между собой. Учитывая, что значения температуры

наружного воздуха различались почти в 2 раза, это свидетельствует о надежности выполненного утепления камер, благодаря чему обеспечены почти одинаковые значения относительной прочности бетона после термообработки. Сравнение температурных режимов с термосным охлаждением в течение 25 часов в камере № 11 до и после утепления при различной температуре наружного воздуха наглядно иллюстрирует эффект от утепления камеры: на участке термосного охлаждения: снижение температуры через 1 час после прекращения подачи пара в утепленной камере составило всего лишь  $4,5^{\circ}\text{C}$  при  $t_{\text{нар.возд.}} = 10-12/1^{\circ}\text{C}$ , в то время, как в этой же камере до утепления за такой же промежуток времени при температуре наружного воздуха, почти в 2 раза высшей, снижение температуры составило  $20,5^{\circ}\text{C}$ . Через 2 часа снижение температуры в этой камере до и после утепления составило, соответственно,  $27^{\circ}\text{C}$  и  $16^{\circ}\text{C}$ , а к моменту открытия крышки камеры через 25 часов после прекращения подачи пара температура в неутепленной камере составляла  $25^{\circ}\text{C}$ , а после утепления –  $35^{\circ}\text{C}$ . Благодаря снижению теплопотерь за счет утепления камеры и сохранению более высокой температуры твердения бетона, при меньшей температуре наружного воздуха  $t_{\text{нар.возд.}} = 10-12/1^{\circ}\text{C}$  относительная прочность бетона после термообработки составила 94,3% от марочной, в то время, как до утепления камеры даже при более высокой температуре наружного воздуха  $t_{\text{нар.возд.}} = 17-19/13^{\circ}\text{C}$  относительная прочность бетона составила только 72% от марочной.

Из представленных данных по снижению температуры в утепленных камерах №№ 4, 8, 11 в период охлаждения после прекращения подачи пара в зависимости от температуры наружного воздуха видно, что в диапазоне исследуемых температур наружного воздуха  $t_{\text{нар.возд.}} = 8-11/3-4^{\circ}\text{C} \dots 18-20/10^{\circ}\text{C}$  не наблюдалось существенной разницы в температурах камер (она находилась в пределах  $6,5-10^{\circ}\text{C}$ ), что свидетельствует о надежной теплозащите этих камер и об эффективности принятого варианта утепления камер с использованием арболитовых пустотных блоков, обладающих, наряду с хорошими теплозащитными свойствами, высокой аккумулялирующей способностью, т.е. способностью длительное время удерживать тепло. При этом была обеспечена относительная прочность бетона: в камере № 4 – 97,6%, № 8 – 88%, № 11 – 94,3%. Немаловажна и экономичность принятого решения, поскольку арболитовые блоки, использованные для утепления камер, были изготовлены на заводе собственными силами с использованием отходов деревообработки.

В заключение следует отметить важное достоинство использованных для температурного мониторинга датчиков DS 1921, обеспечивающих удобную недорогую беспроводную систему оценки, своеобразного «аудита» температурных режимов в пропарочных камерах и выдачи информации с использованием компьютерной техники. Эти датчики в сочетании с устройствами регулирования подачи пара позволяют обеспечить полную автоматизацию контроля и управления всем процессом тепловлажностной обработки железобетонных изделий и конструкций.

**Заключение.** 1. Проведено исследование режимов тепловлажностной обработки изделий и конструкций в ямных пропарочных камерах на полигонах завода с применением измерителей-регистраторов DS 1921 системы температурного мониторинга «Термохрон».

2. На основании полученных данных была установлена необходимость утепления ограждающих конструкций отдельных камер с целью снижения теплопотерь при термообработке изделий и конструкций.

3. Выполнено утепление ограждающих конструкций камер путем устройства утепляющего слоя в виде кладки из арболитовых пустотных мелкоштучных блоков, изготовленных на заводе.

4. Анализ результатов температурного мониторинга режимов термообработки в пропарочных камерах после их утепления, проведенный совместно с анализом результатов прочностных испытаний бетона, подтвердил эффективность выполненного утепления, обеспечившего снижение теплотерь в камерах и повысить прочность бетона после термообработки.

#### Список цитированных источников

1. Коротков, С.Н. Методические основы выявления резервов и планирования экономии энергоресурсов на предприятиях сборного железобетона / С.Н. Коротков // Всесоюзный научно-практический семинар по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий: Тезисы докл. – Ленинград, 1984 – С. 48–52

2. Малинина, Л.А. Снижение энергетических затрат при производстве сборного железобетона за счет рационального выбора цементов, назначения эффективных режимов термообработки бетона и учета экзотермии / Л.А. Малинина // Всесоюзный научно-практический семинар по повышению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий: Тезисы докл. – Ленинград, 1984. – С. 53–58

3. Что такое термохрон? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elin.ru/Thermochron/?Topic=whatis>.

УДК 621.643.25

## ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА СМЕСЬЮ «КАЛЬМАТРОН» ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАПОРНЫХ ТРУБ

Полейко Н.Л., Журавский С.В.

**Введение.** Водонепроницаемость – одна из основных технических характеристик, определяющих эксплуатационность и долговечность бетонных конструкций.

Проницаемость бетона в значительной степени зависит от состава бетонной смеси, качества уплотнения, ухода за бетоном, степени гидратации цемента и условий эксплуатации конструкций. Особо остро стоит вопрос о восстановлении водонепроницаемости бетона в условиях эксплуатации, при которых выявлены признаки разрушения бетона.

Технологический процесс бетонирования конструкций, режима тепловлажностной обработки бетона сопряжены с большой вероятностью образования температурных, усадочных и силовых трещин, наличием зон контакта свежесушеной бетонной смеси и затвердевшего бетона, наличием водных пленок под арматурой и крупным заполнителем.

Постоянная миграция влаги в массиве бетона за счет капиллярного подсоса, испарения, перепада температур на различных поверхностях являются определяющим фактором процесса интенсификации разрушения цементного камня.

Установлено [1, 2, 3], что от параметра проницаемости в значительной степени зависит и морозостойкость, косвенно характеризующая долговечность бетона конструкции. Снижение проницаемости бетонных конструкций достигается различными способами, но наиболее эффективным и радикальным, по нашему мнению, является кольматация пор и капилляров бетона.