

Министерства высшего и среднего специального
образования Республики Узбекистан
Бухарский технологический институт пищевой и легкой
промышленности

На правах рукописи

УДК 666.974.2

Рахимов Нодир

Тема: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
(СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ) ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ МОНОЛИТНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ

Специальность: 5А580201 –«Строительные конструкции.
Здания и сооружения»

Д и с с е р т а ц и я

на соискание академической степени магистра

Научный руководитель:

д.т.н., проф. Вохидов М.М.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБ УХОДА ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ.....	3
2. ВЫЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА УХОДА ЗА БЕТОНОМ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА.....	11
3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ.....	27
ВЫВОДЫ.....	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	52

ВВЕДЕНИЕ

Практика эксплуатации в условиях сухого жаркого климата открытых монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций показывает преждевременное повреждение и их разрушение, приносящее большой экономический ущерб. Это обусловлено тем, что в летнее время бетон подвергается многократному циклическому нагреву и охлаждению, сушевым, а в зимний период замораживанию и оттаиванию, в результате значительно нарушается его структура и ухудшаются свойства.

Ранее выполненные многочисленные исследования были в основном направлены на снижение негативного влияния климатических факторов на производство бетонных работ, а использование тепла солнечной радиации для ускорения твердения и повышения прочности бетона не уделялось должного внимания. Настоящая работа направлена на восполнение данного пробела технологии бетонирования конструкций.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ СПОСОБОВ УХОДА ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ

Для интенсификации твердения монолитного бетона предложены различные способы. К ним относятся полимерные светопрозрачные и темные пленочные покрытия. С учетом перечисленных и изложенных выше способов ухода за твердеющим бетоном в экспериментальных исследованиях использованы следующие виды покрытий: УВП, ИТВП, пергамин, прозрачная и темная полиэтиленовая пленка, металлизированная пленка с паралоновым основанием, слой песка (толщиной 50 мм), пленкообразующий материал (битумно-керасиновый состав и ПМ-100А).

Исследования выполнены в естественных условиях г. Бухары в летнее время на экспериментальном стенде, представляющем собой незатененную площадку с размерами в плане 6 x 9 м, засыпанную керамзитовым гравием

толщиной 15 см. Предварительно на эту площадку с песчано-гравийным основанием уложили один слой пленки, засыпали ее керамзитовым гравием, затем керамзит покрыли еще слоем пленки и асфальтом с небольшим уклоном для стекания осадков за пределы стенда. По краям гелиостенд был плотно закрыт бетонными бордюрами, установленными до засыпки гравия. Все это позволило в процессе проведения экспериментов поддерживать керамзит постоянно в сухом состоянии, ограничить конвективный теплообмен и, тем самым, в любой период года обеспечить высокую теплоизоляционную способность стенда (рис.1).

В экспериментах использовали бетонную смесь с В/Ц=0,56 и О.К=6-8 см на портландцементе М 400 Навоийского завода, кварцевом песке с Мк=1,9 и плотном гравии фр. 5-20 мм Куюмазарского карьера.

Готовую смесь в 10 ч утра укладывали в установленные формы. В намеченных точках формы были помещены термодатчики, соединенные с потенциометром для определения температуры бетона. После отделки поверхности бетонных образцов производили уход выше перечисленными способами. В отдельных случаях (например при применении метода покрывающего водного бассейна) в течении примерно одного часа начальный уход осуществляли укрытием поверхности бетона прозрачной пленкой.

До сих пор, предложенные ранее способы ухода, использовали для нейтрализации негативного влияния СЖК, либо интенсификации твердения бетона. Однако, с позиций одновременной интенсификации твердения, сокращения продолжительности ухода и улучшения прочности монолитного бетона этот вопрос оставался малоизученным. В связи с этим нами выполнены исследования по этим вопросам.

Общий вид стенда для проведения экспериментов

а)



б)



Рис. 1

а) - вид стенда до укладки бетонной смеси;

б) - тоже, после укладки смеси.

Гелиопрогрев бетона, твердевшего
под различными покрытиями

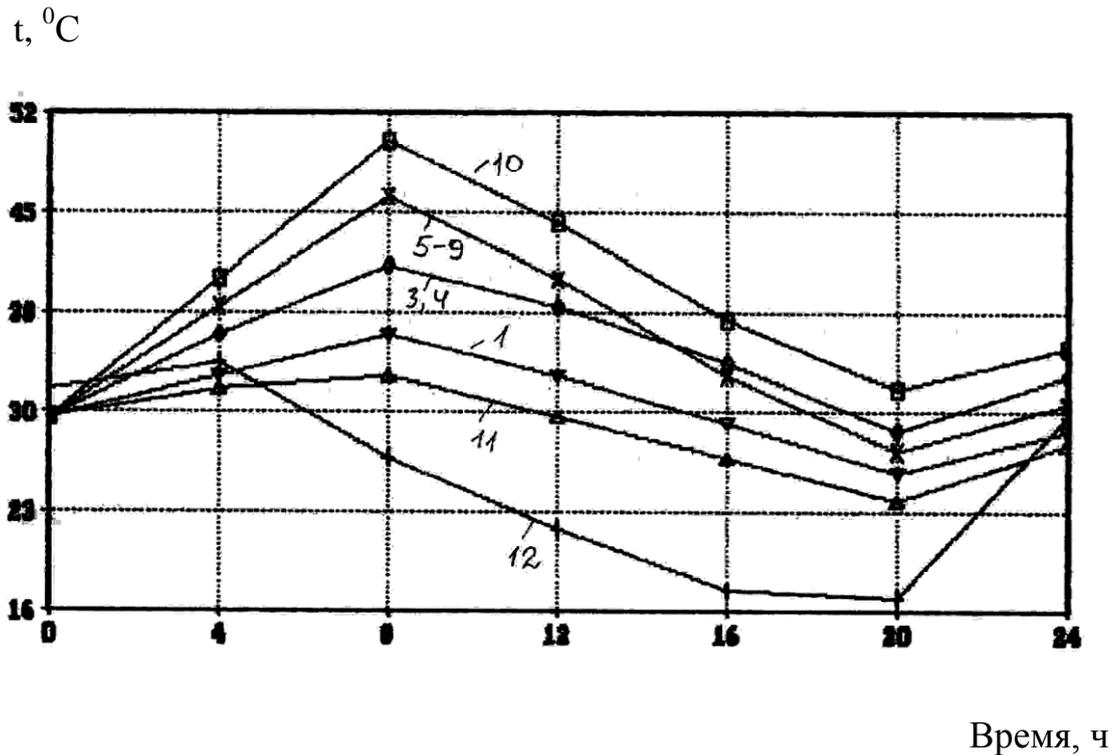


Рис. 2

- 1-слой песка; 2-покрывающий водный бассейн;
- 3-ИТВП; 4-металлизированная пленка с паралоном;
- 5-полиэтиленовый лист, дублированный мешковиной;
- 6-, 7-прозрачная и темная полиэтиленовые пленки;
- 8-пергамин; 9-пленкообразующий материал;
- 10-светопрозрачное термовлагоизоляционное покрытие;
- 11-без ухода; 12-температура окружающей среды.

Известно, что на температуру твердеющего бетона под различными покрытиями в условиях сухого жаркого климата (СЖК), а также структуру и свойства, оказывает влияние характеристика применяемых материалов. Поэтому, сначала изучили влияние материалов безвлажностного способа ухода.

На рис. 2 представлены результаты измерений температуры центра (а) и поверхности (б), твердеющих в условиях различного ухода бетонных

образцов - плит размером 40x40x15 см, полученные при проведении экспериментов.

Анализ показывает, что все рассмотренные методы ухода можно классифицировать на следующие условные четыре группы.

К первой можно отнести, например, укрытие бетона слоем песка и выдерживание его в покрывающем водном бассейне (ПВБ). При этом температура бетона характеризуется относительно медленной скоростью прогрева, например, 1 град/ч в солнечное время и охлаждение 0,7 град/ч в несолнечное. Изменение температуры бетона за одни сутки выдерживания составляет 8-10 град, при колебании температуры окружающей среды до 18⁰С. Зрелость (S)-условное теплосодержание бетона, выраженное через градусо-часы, при этом составляет 740-770. Прогрев твердеющего бетона под воздействием климатических факторов, а также за счет экзотермии цемента осуществлялся до 37⁰С.

Ко второй группе, можно отнести такие способы ухода, как укрытие бетона ИТВП и металлизированной пленкой с паралоном. За счет частичного использования тепла окружающей среды, прогрев бетона при этом осуществляется до 41⁰С, что несколько больше, чем при использовании методов ухода первых групп. При этом скорость подъема температуры составляет примерно 2, а снижение-1 град/ч. Зрелость бетона с данными методами ухода на 10 % больше, нежели предыдущий и составляет 830-840 град/ч за одни сутки твердения.

К третьей группе, можно отнести следующие виды ухода: плотное укрытие поверхности бетона полиэтиленовой пленкой, комбинированной мешковиной, темной и прозрачной полиэтиленовой пленкой, пергамином и нанесение на его поверхность пленкообразующих материалов темного и относительно светлого тонов. Эксперименты показали, что за счет прогрева монолитного бетона непосредственно под воздействием солнечной радиации в одном случае, и за счет тепла, передаваемого нагретой темной

пленкой в другом, температурные режимы его в этих условиях оказались примерно одинаковыми.

Скорость прогрева и охлаждения бетона при использовании исследуемых методов ухода третьей группы равны 3,5 и 1,5 град/ч. Колебания температуры твердеющего бетона за одни сутки в условиях ухода составили 17-18 °С, при изменении температуры среды 18 °С. При этом температура бетона почти все время была на 11-13 °С выше температуры среды и составляла 46-47 °С. Зрелость бетона составляла 850-870 град/ч, что на 2-3 и 12-13 % больше, чем зрелость его, где использовались методы ухода второй и первой группы соответственно.

Аналогичные результаты получены и при изучении прогрева верхних зон плит. Следовательно, из рассмотренных методов ухода условная третья группа более эффективная с позиции прогрева твердеющего бетона за счет некоторого использования солнечной энергии. Кроме того, это обеспечивает сближение температур твердеющего бетона и последующего циклического нагрева, и тем самым может повысить его термоморозостойкости.

В следующей серии экспериментов изучено влияние материалов безвлажностного способа ухода на прочность бетона в начальные сроки твердения при температуре окружающей среды в дневное время 34 °С (табл.1).

Прочность бетона при твердении в различных условиях ухода

Методы ухода	R в возрасте*	
	1сут.	3сут.
ИТВП	$\frac{3,5}{23}$	$\frac{7,48}{49,2}$
Укрытие тёмной плёнкой	$\frac{4,4}{28,9}$	$\frac{7,92}{52,1}$
Укрытие пергамином	$\frac{3,9}{25,6}$	$\frac{7,9}{51,8}$
УВП	$\frac{4,5}{29}$	$\frac{9,0}{59,3}$
Укрытие прозрачной плёнкой	$\frac{4,6}{30,2}$	$\frac{9,12}{60,1}$
Нормальное твердение	$\frac{3,3}{21,4}$	$\frac{6,1}{40,8}$

*- над чертой МПа, под чертой % %.

Данные табл. 1 согласуются с результатами влияния материала безвлажностного ухода на температуру бетона и лучшие показатели достигаются при использовании светопрозрачного покрытия из полиэтиленовой пленки.

Анализ литературных данных показал, что дальнейшее повышение температуры прогрева монолитного бетона за счет солнечной энергии и эффективности способа ухода можно достигнуть за счет увеличения теплоизолирующей способности покрытий, выполненных из светопрозрачных материалов.

2. ВЫЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА УХОДА ЗА БЕТОНОМ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА

Температура прогрева монолитного бетона при безвлажностном уходе, вероятно, зависит от количества слоев светопрозрачного покрытия и толщины воздушной прослойки над бетоном.

В связи с этим возникает необходимость определения параметров способа безвлажностного ухода за монолитным бетоном названного нами светопрозрачным термовлагоизоляционным покрытием (СТВП). С этой целью, выполнены исследования влияния количества слоев светопрозрачных полиэтиленовых пленок и толщины воздушной прослойки над бетоном на температуру его прогрева. Результаты выполненных исследований представлены на рис. 3.

Показатели температуры прогрева
бетона при твердении под СТВП.

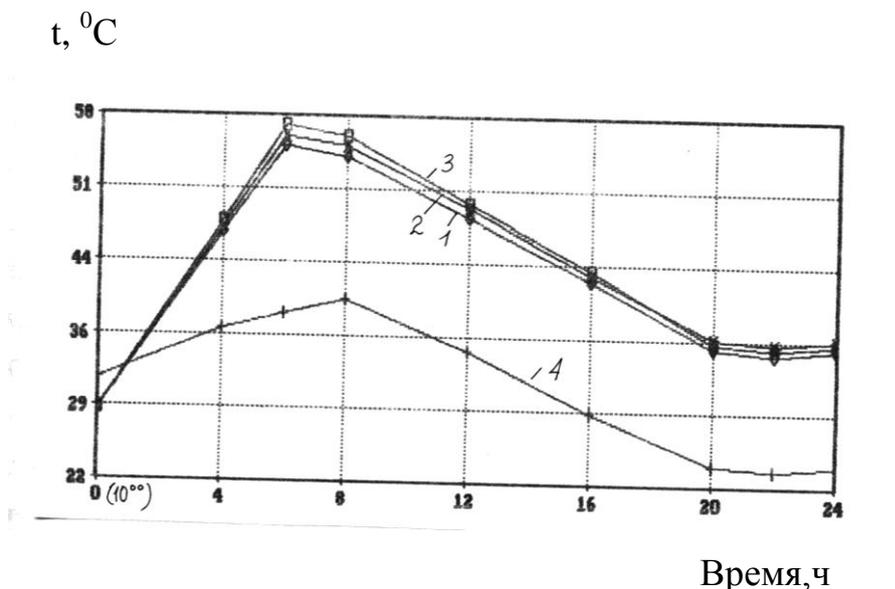


Рис. 3

1-покрытие на базе однослойной пленки;

2-тоже, двухслойной пленки;

3-трехслойной пленки;

4-температура окружающей среды.

Данные, полученные нами при исследовании прогрева монолитного бетона, уложенного СТВП, выполненным из одного, двух и трех слоев пленки ($\delta=100$ мкм). Анализ приведенных данных показывает, что применение покрытия с однослойной пленкой, прогрев и охлаждение твердеющего бетона происходит со скоростью примерно 4 и 1,5 град/ч соответственно.

Для сравнительной оценки эффективности прогрева зрелость бетона в 1 сут. возрасте косвенно характеризовали градусо-часами (град ч). Эксперименты показали, что зрелость бетона, твердевшего под двух- и трехслойной покрытиями соответственно составила 1085 и 1070 град ч, что лишь на 1-3 % больше, чем показатель однослойного покрытия. Такая незначительная разница объясняется с одной стороны тем, что с увеличением количества слоев существенно снижается плотность солнечной радиации, идущей для прогрева бетона. А с другой стороны, теплообмен происходит не только через верхние поверхности с окружающей средой, но и через нижние - с основанием.

Толщина воздушной прослойки над бетоном зависит от теплообменных процессов и может быть уточнена экспериментально на основании результатов натурных исследований. Поэтому сначала изучили теоретическую зависимость толщины воздушной прослойки с позиций теплообменных процессов.

Согласно закона теплофизики, общее количество тепла, передаваемого через воздушную прослойку равно сумме тепла, передаваемого через теплопроводность – q_{τ} , конвекцию – q_{κ} и излучение - q_{λ} . Передача тепла в воздушной прослойке теплопроводностью характеризуется выражением:

$$q_{\tau} = (\tau_{\delta} - \tau_{c}) \lambda_{\delta} / \delta_{\delta} ,$$

где τ_{δ} - температура поверхности бетона под покрытием, τ_c - температура нижней поверхности светопрозрачного материала, λ_b - коэффициент теплопроводности воздуха в прослойке, Вт/м К, δ_b - толщина воздушной прослойки, м.

Таким образом, если предположить, что теплотери твердеющего бетона происходят только за счет теплопроводности, тогда термическое сопротивление - теплоизолирующая способность СТВП, в основном будет зависеть от толщины воздушной прослойки.

Однако установлено, что сопротивление теплопередаче воздушной прослойки ($R_{в.п}$) не может быть определено как сопротивление теплопроводности слоя воздуха, т.к. передача через воздушную прослойку от одной поверхности к другой происходит в основном конвекцией и излучением. Следовательно, в простейшем случае герметичной воздушной прослойки, поток тепла, передаваемого от одной поверхности к другой можно представить в виде суммы: $q = q_k + q_{\lambda}$; передача тепла в ней происходит за счет конвективного теплообмена и через лучеиспускание.

Конвективный теплообмен в воздушной прослойке выражается: $q_k = \alpha_k (\tau_{\delta} - \tau_c)$, где α_k - коэффициент конвективного теплообмена, отнесенный к разности температур $\Delta \tau = \tau_{\delta} - \tau_c$ на поверхностях прослойки. В горизонтальной прослойке при потоке тепла, направленного снизу вверх возникают восходящие и нисходящие токи, образующие циркулярные контуры. Значение α_k при этом характеризуется выражением: $\alpha_k = [2,4(\Delta \tau / \delta_b)^{0,25}]n$ и зависит в основном от толщины прослойки. Установлено, что при $\delta_b = 10$ мм, $n = 1,2$; при $\delta_b = 50$ мм, $n = 1,45$; при $\delta_b = 100$ мм, $n = 1,25$ и при $\delta_b = 200$ мм, $n = 1,05$. Анализ показывает, что лишь при $\delta_b = 50$ мм термическое сопротивление воздушной прослойки максимальное.

Лучистая составляющая теплопередачи через воздушную прослойку, характеризуется закономерностью $q_{\lambda} = \alpha_{\lambda} (\tau_{\delta} - \tau_{\epsilon})$, где α_{λ} - коэффициент лучистого теплообмена. Согласно закона теплофизики, при лучистом теплообмене и передаче тепла снизу вверх, с увеличением толщины воздушной прослойки сопротивление ее теплопередаче возрастает, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

$R_{в.п.}$ при потоке тепла снизу вверх

$\delta_{\epsilon}, мм$	10	20	30	50	100	150-300
Значение $R_{в.п.}$ летом, $м^2к/вт$	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,155
Зимой, $м^2к/вт$	0,15	0,155	0,16	0,17	0,18	0,18-0,19

Показатели температуры прогрева бетона при твердении
под СТВП с разной толщиной воздушной прослойки

$t, ^\circ C$

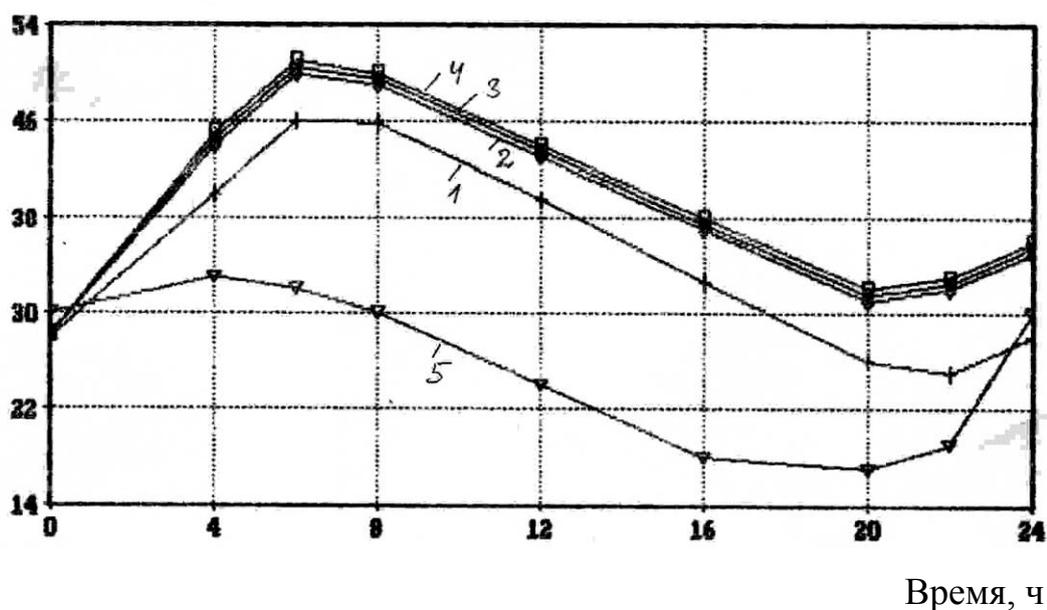


Рис. 4

1-0 мм; 2-25 мм; 3-50 мм; 4-100 мм;
5-температура окружающей среды.

Таким образом, из анализа полученных данных следует, что с позиции гелиопргрева твердеющего бетона, толщина воздушной прослойки над его поверхностью в СТВП может составлять 50-100 мм.

Для проверки справедливости теоритических результатов выполнены экспериментальные исследования влияния толщины воздушной прослойки на прогрев под СТВП в натуральных условиях.

Анализ приведенных данных показывает, что действительно при толщине воздушной прослойки 50-100 мм показатели температуры прогрева наиболее высокие и составляют 51-52⁰С, что согласуется с результатами теоретического обоснования толщины воздушной прослойки.

Для аппроксимации результатов экспериментальных исследований (табл.3) в математическую зависимости использован полином n-й степени:

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ - коэффициенты полинома;

n - показатель степени;

x - толщина воздушной прослойки под СТВП;

Y - условное теплосодержание бетона.

Проведенный теоретический анализ показал, что при опытных данных, приведенных в табл. 3., полином 1-й степени описывает

Таблица 3.

Экспериментальная зависимость условного теплосодержания бетона (В15) от толщины воздушной прослойки, коэффициента пропускания радиации и количества слоев пленки в СТВП

Серия опытов	Толщина воздушной прослойки, мм	Коэффициент пропускания пленкой суммарной солнечной радиации	Количество слоев пленки в покрытии	Фактическое условное теплосодержание бетона за 1 сутки твердения (S)
	0	0,88	1	850
	10	0,88	1	910
	20	0,88	1	960

I	30	0,88	1	1000
	40	0,88	1	1030
	50	0,88	1	1055
	60	0,88	1	1060
	70	0,88	1	1065
	80	0,88	1	1070
	90	0,88	1	1075
	100	0,88	1	1080
II	50	0,86	1	1045
III	50	0,88	1	1055
	50+20	0,88	2	1065
	50+20+20	0,88	3	1070

полученную зависимость с существенным расхождением. С увеличением степени полинома теоретические результаты приближаются к экспериментальным данным (табл. 4).

Зависимость S бетона от δ (серия 1)

Толщина воздушной прослойки (аргумент) мм	Фактические показатели условного теплосодержания бетона град.ч	Теоретические показатели условного теплосодержания бетона, полученный полиномом		
		1 степени	2 степени	3 степени
00E+00	8500E+03	9095E+03	8585E+03	8475E+03
10E+02	9100E+03	9305E+03	9100E+03	9122E+03
20E+02	9600E+03	9514E+03	9548E+03	9628E+03

30E+02	1000E+04	9723E+03	9927E+03	1001E+04
40E+02	1030E+04	9932E+03	1024E+04	1029E+04
50E+02	1055E+04	1014E+04	1048E+04	1048E+04
60E+02	1060E+04	1035E+04	1066E+04	1060E+04
70E+02	1065E+04	1056E+04	1076E+04	1068E+04
80E+02	1070E+04	1077E+04	1080E+04	1072E+04
90E+02	1075E+04	1098E+04	1077E+04	1075E+04
10E+03	1080E+04	1119E+04	1068E+04	1079E+04

Таким образом на основании обработки опытных данных получена математическая зависимость условного теплосодержания бетона (S) от толщины воздушной прослойки (δ) в виде полинома 2 степени:

$$S = 847,5 + 7,4 \delta - 0,8 \delta^2 . \quad (2)$$

Степень полинома (n)= 1 ,

Коэффициент полинома (K_{ϕ}) $\alpha_0=910E+03$ $\alpha_1=209E+01$.

Степень полинома n = 2,

K_{ϕ} $\alpha_0= 858E+03$ $\alpha_1 = 549E+01$ $\alpha_2 = -340E-01$.

Степень полинома n = 3,

K_{ϕ} $\alpha_0 = 847E+03$ $\alpha_1 = 724E+01$ $\alpha_2 = -799E-01$ $\alpha_3 = 306E-03$.

Степень полинома n = 4,

K_{ϕ} $\alpha_0 = 850E+03$ $\alpha_1 = 640E+01$ $\alpha_2 = -379E-01$ $\alpha_3 = -366E-03$ $\alpha_4 = 336E-05$.

Рациональная толщина воздушной прослойки положительно влиял на температуру прогрева монолитного бетона, может отрицательно сказаться на процесс обезвоживания, пластическую усадку и на его ТМрз. Поэтому выполнены исследования по установлению влияния толщины воздушной прослойки на перечисленные свойства бетона, твердеющего под СТВП. В процессе исследований определяли влагопотери и пластическую усадку

бетона класса В 15. Влагопотери и пластическую усадку изучали по методике кафедры строительства зданий и сооружений.

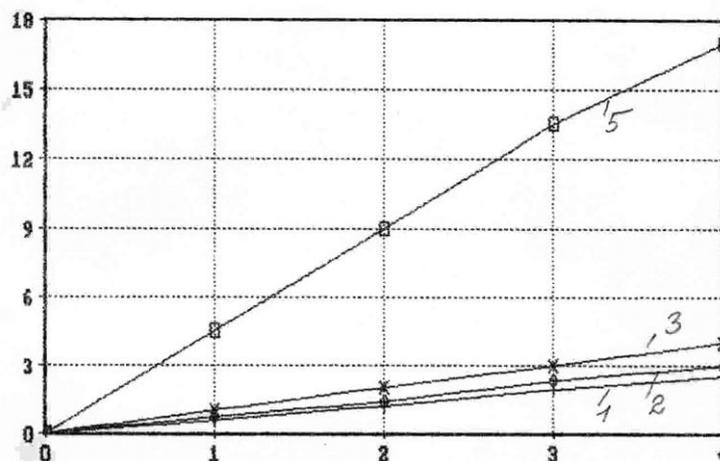
На рис. 5 приведены результаты выполненных исследований, которые показывают, что увеличение толщины воздушной прослойки с 1 до 100мм малозаметно влияет на водопотери и пластическую усадку образцов бетона под СТВП.

Незначительные влагопотери, происходящие в течение примерно 2-3 ч практически приостанавливаются после образования под покрытием достаточного конденсата, который хорошо виден на рис. 6.

Изменение водопотерь $\left[\frac{\Delta W}{W} \right]$ и пластической усадки $\left[\frac{\Delta l}{l} \right]$

твердеющего бетона в зависимости от толщины воздушной прослойки

$\left[\frac{\Delta W}{W} \right], \%$



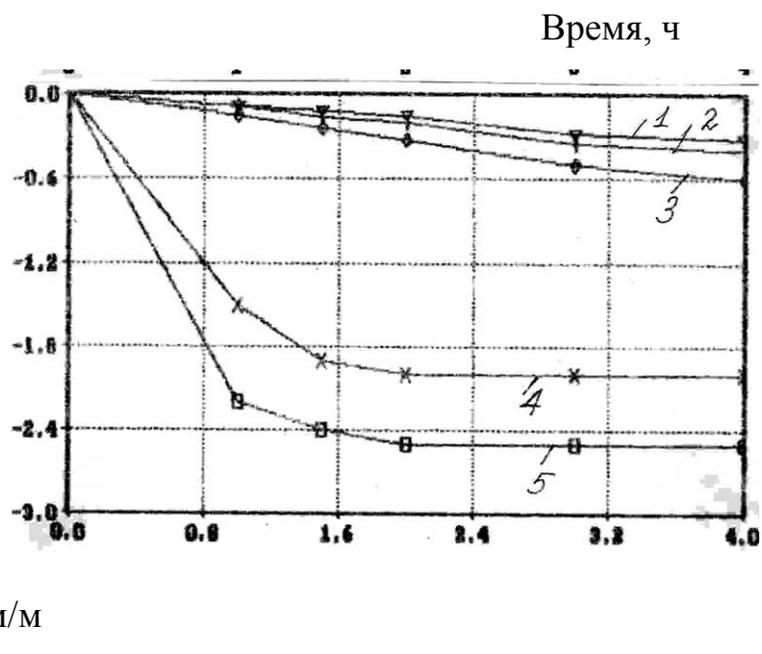


Рис. 5

1- 1 мм; 2- 50 мм; 3- 100 мм;
 4- без ухода с $\text{Мот.п.}=10 \text{ м}^{-1}$; 5- тоже, 30 м^{-1} .

Конденсат, образованный под покрытием

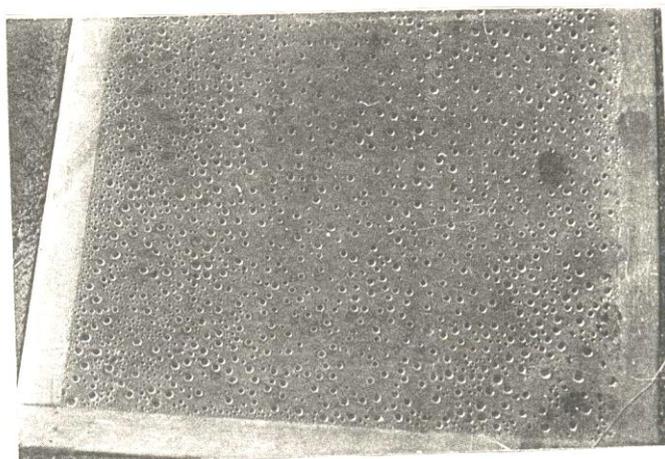


Рис. 6

Исследования показали, что для этого расходуется не более 3-4 % воды затворения, которой не сказывается отрицательно на свойствах

бетона, в результате некоторого снижения В/Ц. Величина деформации при этом не превышает 0,5 мм/м.

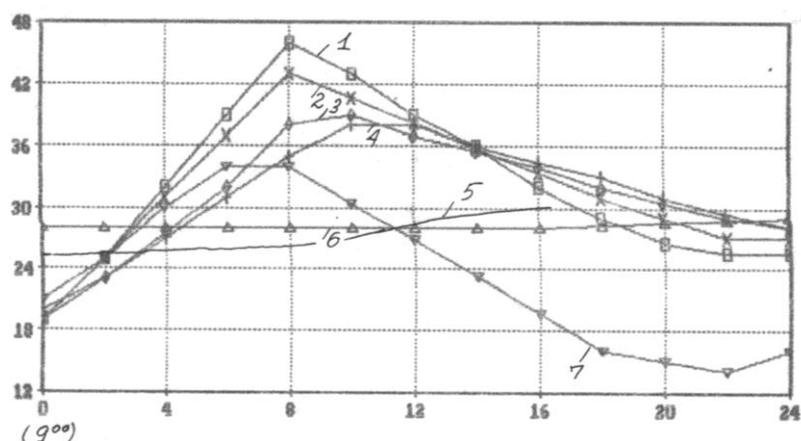
Таким образом, на основании анализа результатов проведенных исследований, их обобщения, толщину воздушной прослойки между твердеющим бетоном и СТВП можно назначить в пределах 50-100 мм.

В следующей серии экспериментов определили влияние толщины воздушной прослойки на температурный режим прогрева бетона под СТВП с учетом теплообмена с основанием. Температуру бетона и среды измеряли шеститочечным автоматическим самопишущим потенциометром КСП-4 с применением хромель-копелевых термопар. Относительную влажность замеряли аспирационным психрометром по показанию сухого и влажного термометров. Поскольку прогрев бетона в ряде случаев зависит от массивности изделий, то исследования проводили на представительных, с позиции прогрева, образцах размером 40х40х15 см.

Исследования, основные результаты которых представлены на рис. 7 показали, что при применении СТВП, прогрев центральных зон образцов осуществляется со скоростью в среднем 4,2 град/ч. Температура бетона под покрытием при этом достигала 55-56 °С, при максимальной температуре наружного воздуха 41-42 °С.

Показатели температуры гелиопрогрева монолитного
бетона (1,2,3) и его основания (4,5,6).

t, °С



Время, ч

Рис. 7.

- 1-, 2- и 3- на 5,75 и 145 мм ниже поверхности;
 4-, 5- и 6- на 5,150 и 300 мм ниже бетона;
 7- температура окружающей среды

Продолжительность твердения бетона при температуре 50°C и выше, составляет 6, а при 40°C и выше - 14 ч. При этом минимальная температура бетона (к утру следующего дня) была более 34°C . Зрелость бетона за одни сутки твердения его под СТВП составляла 928 градусо-часов, или 94 % от S бетона сборных изделий (990 град.ч), подвергнутых ТВО при температуре 80°C по режиму 2+3+6+2 часа. Если бетон сборных изделий при этом через сутки будет иметь прочность 70 % от марочной, то бетон прошедший гелиотермообработку, под СТВП также будет иметь прочность, близкую к этой.

Следовательно, создается возможность не только для повышения термо-морозостойкости бетона, но а также и для интенсификации его твердения в этих условиях и тем самым значительного сокращения продолжительности ухода за ним.

При этом скорость подъема температуры в верхних зонах образца максимальная и составляет 5,8 град/ч, а в нижних - минимальная - 3,5 град/ч. Следовательно, при применении СТВП скорость прогрева бетона и

разница температуры по толщине образца незначительна, поэтому она не должна отрицательно сказаться на основных свойствах и стойкости бетона.

Эксперименты направленные на изучение прочности бетона с рекомендованными параметрами СТВП проводили на лабораторном стенде в реальных условиях. В опытах для приготовления бетонных смесей использовали ШПЦ М 400 Навоийского завода, кварцевый песок с $M_k=2,05$ и плотный гравий фр. 5-20 мм. В покрытии в качестве светопрозрачного материала использована полиэтиленовая пленка толщиной 100 мкм.

Анализ результатов испытаний бетона на сжатие, представленных в табл.5. показал, что при твердении образцов под СТВП через 1 сут они набирают 52,6 % от марочной прочности. Достигнутая при этом через 1 сут прочность, после прекращения ухода обеспечивает достижение бетоном в 28 суточном возрасте марочной прочности.

Сравнительные показатели прочности бетона при
твердении образцов в различных условиях

Способы ухода	Продолжительность ухода, сут.	R(Мпа – над чертой, %-под чертой в возрасте, сут.)			ТМрз 60+F циклов, +F
		1	3	28	
Укрытие бетона СТВП	1	13,3/52,6	-	24,8/98,0	
Укрытие бетона СТВП	3	-	20,2/79,8	26,1/103,0	+160
плёнкой	1	11,3/44,7	-	20,2/79,8	
плёнкой	3	-	16,8/66,4	25,4/100,5	+140
ИТВП	1	7,5/29,6	-	18,8/74,3	
ИТВП	3	-	13,4/53,0	25,2/100,2	+150
Без ухода	0	6,5/25,7	12,2/48,2	14,3/56,5	+60
Норм.услоиях	28	-	-	25,3/100	+140

Во всех остальных случаях, односуточное выдерживание бетона в условиях ухода не обеспечивает достижение им критической прочности относительно влагопотерь, а поэтому в возрасте 28 сут не обеспечивается его марочная прочность.

В экспериментах выявлено, что при твердении бетона в условиях ухода, скорость звука в кубиках, также как и его зрелость, несколько ниже, чем в образцах плит. Так, например, скорость звука в бетонном кубике 3704 м/с, а в образце - плите 3791 м/с, что свидетельствует о некоторой заниженности результатов полученных при испытании кубиков на сжатие.

Распространение скорости звука в бетоне,
твердеющем в условиях ухода

Методы ухода	Скорость звука в разных зонах образцов (м/с) в возрасте 1 сут		
	верхней	центральной	нижней
Укрытие СТВП	3620	3791	3902
плёнкой	3165	3252	3300

Также выявлено, что прочность бетона в образцах - плитах несколько увеличивается верхних зон в сравнении с нижними. Такое явление объясняется теплопотерей бетона от верхних зон в окружающую среду и ночным тепловым эффектом основания на нижние зоны образцов.

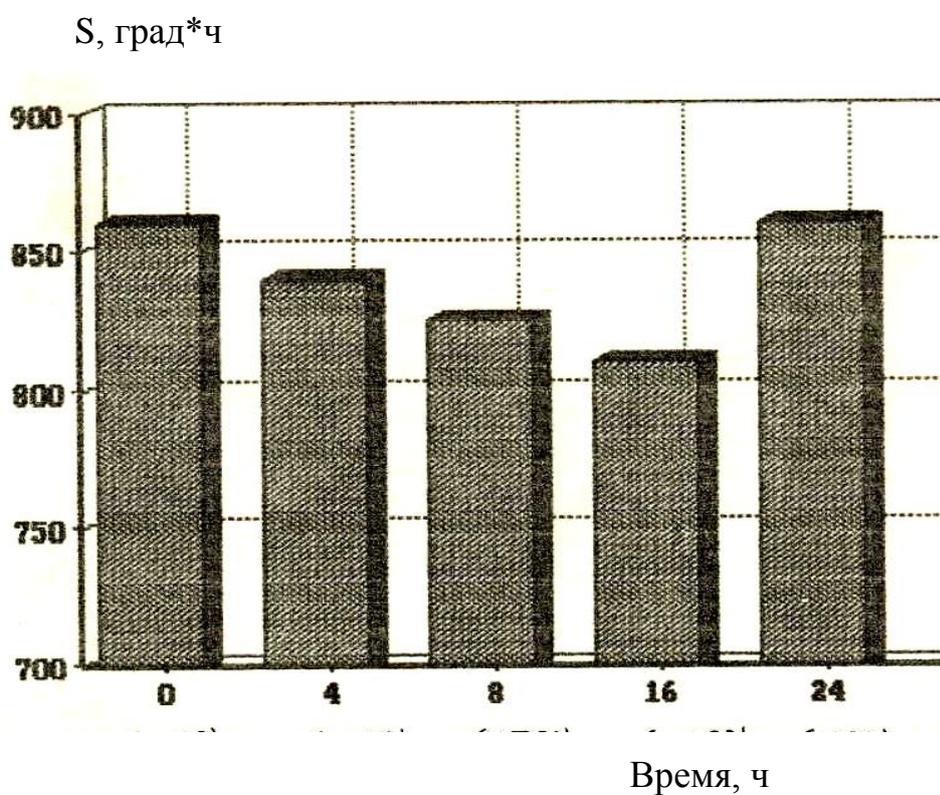
Для экспресс-контроля прочности бетона в конструкциях и определения времени прекращения ухода при гелиотермообработке его в производственных условиях, исследователями разработан "Способ определения прочности в конструкциях" (А.с. N 1533507 от 1.09.1989 г), который основан на зависимости "Зрелость-прочность", что иллюстрируется данными табл. 7.

Таким образом, использование разработанного способа ухода, позволяющего создавать благоприятные температурно - влажностные условия твердеющему в условиях СЖК бетону, обеспечивает не только его термо-морозостойкость, но и эффективность использования солнечной энергии для интенсификации твердения бетона, сокращения продолжительности ухода за ним, снижения трудоемкости и стоимости ухода и упрощения технологии производства работ.

Зависимость прочности от зрелости бетона

Условия твердения бетона	Зрелость, град.ч за сут	Прочность бетона: МПа – над чертой; %%- под чертой
В условиях ухода под СТВП	$\frac{928}{100\%}$	$\frac{13,3}{100\%}$
В камере при 55 ⁰ С по режиму 3+6+3ч	$\frac{964}{104\%}$	$\frac{14,1}{106\%}$

Показатели суточной зрелости бетона в зависимости от времени укладки смеси в опалубку

Рис.8. (0 соответствует 9⁰⁰ ч утра)

Исследования показали, что скорости и максимальные температуры прогрева твердеющего бетона, уложенного в конструкции в разное время суток, в ряде случаев существенно отличаются. В то же время его зрелость за сутки твердения в этих условиях, примерно, одинаковая или отличается всего на 3-6 % (рис. 8).

Предложенные методы ухода за свежесуложенным бетоном в зимних условиях не учитывают особенностей районов с СЖК. Наряду с этим следует отметить, что исследователи до последнего времени не уделяли должного внимания прочности бетона, полученного в зимнее время, несмотря на то, что в условиях СЖК этот вопрос имеет важное практическое значение. Поэтому выполнены исследования по определению эффективности использования СТВП в качестве способа ухода за бетоном при отрицательной температуре воздуха и влиянию на его прочность.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ТВЕРДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Анализ температурно-влажностных условий зимнего периода (по СНиП Строительная климатология и геофизика) показывает, что в районах с сухим жарким климатом холодный период со среднесуточной температурой менее 0°C длится до 3-х, а в ряде случаев и до 4-х месяцев. Температура наружного воздуха снижаясь ниже нуля, колеблется в основном в интервале $-5...+5^{\circ}\text{C}$. Например, в январе месяце в Ташкенте она колеблется в интервале $-5,3...+3,5^{\circ}\text{C}$, Самарканде $-5,2...+4,6^{\circ}\text{C}$, Фергане $-7,2...+1^{\circ}\text{C}$ и т. д.

В феврале месяце в этих городах температура колеблется в интервалах $-2,8...+6,8^{\circ}\text{C}$, $-2,9...+7,5^{\circ}\text{C}$, $-3,8...+5^{\circ}\text{C}$, соответственно. Кроме того, в этих районах температура окружающей среды в некоторых случаях может снижаться до более низких температур ($-10...-20^{\circ}\text{C}$).

Средняя относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца (в 13 ч) составляет, как правило, 55...65 %, что на 25-30 % меньше, чем в районах умеренного климата. В табл. 8 и 9. приведены климатические данные холодного периода некоторых пунктов, расположенных в районах с сухим жарким климатом.

Учитывая сравнительно меньшую относительную влажность воздуха и частые переходы температуры через 0°C в зимний период, сначала выполнили исследования водопотерь и пластической усадки бетона.

Результаты исследований физических деструктивных процессов твердеющего бетона ($\text{В/Ц}=0,5$, $\text{О.К.}=3-5$ см; на портландцементе М 500) в естественных условиях без ухода зимнего периода представлены на рис. 9.

Таблица 8.

Климатические данные холодного периода
некоторых характерных городов Центральной Азии.

N N П. П	Республика, пункт	Температура наружного воздуха, °С					
		Средняя по месяцам					Наиболее холодной пятидневки
		1	2	3	11	12	
УЗБЕКИСТАН							
1.	Бухара	-0,1	3	9	7,2	2,1	-1,2
2.	Самарканд	-0,3	-2,3	7,2	6,5	2,1	-13
4.	Ташкент	-0,9	2	7,6	6,4	1,6	-15
5.	Фергана	-3,2	0,6	7,8	5,6	0,4	-15
6.	Ургенч	-4,8	-1,7	4,8	3,3	-2,3	-18
КАЗАХСТАН							
7.	Алма-Ата	-7,4	-5,6	1,8	0,8	-4,8	-25
8.	Джамбул	-6	-3,9	3,1	1,2	-4	-26
КИРГИЗИСТАН							
10.	Нарын	-17,3	-13,5	-4,5	-4,5	-13,4	-29
11.	Бишкек	-5,6	-3,2	-3,8	2,2	2,9	-23
ТАДЖИКИСТАН							
12.	Душанбе	0,8	3,4	8,6	9,3	4,4	-13
13.	Ленинабад	-2,0	1,5	8,2	6,4	1,4	-13
ТУРКМЕНИСТАН							
14.	Ашхабад	1,4	4,4	9,4	3,7	3,7	-11
15.	Ташауз	-4,7	-2,0	4,6	3,4	-2,3	-1,7
Для сравнения РАЙОНЫ С УМЕРЕННЫМ КЛИМАТОМ							
1.	Москва	-10,2	-9,6	-4,7	-2,2	-7,6	-26
2.	Киев	-5,9	-5,2	-0,4	1,2	-3,5	-22

Таблица 9

N N. П П	Средняя температура наиболее холодного периода °С	Продолжительность периода с среднесуточной температурой 0°С, сут	Амплитуда колебаний температуры (над чертой- средняя, под чертой – максимальная) по месяцам, °С					Средняя относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца в 13 ч, %
			1	2	3	11	12	
1*	-3	28	-	-	-	-	-	64
2	-3	27	$\frac{9,8}{23,4}$	$\frac{10,3}{21,7}$	$\frac{10,7}{22,9}$	$\frac{13}{24,2}$	$\frac{10,1}{26,6}$	61
4	-6	36	$\frac{8,9}{19,9}$	$\frac{9,7}{25,1}$	$\frac{10,4}{20,8}$	$\frac{11,6}{23,2}$	$\frac{9}{22}$	62
5	-7	60	$\frac{8,3}{19,1}$	$\frac{8,8}{20}$	$\frac{10}{19,3}$	$\frac{10,5}{21,2}$	$\frac{8,1}{19}$	68
6	-8	88	-	-	-	-	-	68
7	-10	113	$\frac{9,5}{4,8}$	$\frac{9,6}{20}$	$\frac{9,4}{22,3}$	$\frac{9,4}{23,9}$	$\frac{9,4}{22,9}$	68
8	-9	105	$\frac{10,8}{27,9}$	$\frac{11,1}{28,9}$	$\frac{11}{26,9}$	$\frac{12,2}{28,4}$	$\frac{11,2}{27,1}$	68
10	-9	98	-	-	-	-	-	63
11	-19	145	-	-	-	-	-	67
12	-2	0	-	-	-	-	-	56
14	-2	0	-	-	-	-	-	65
Для сравнения ройоны с умеренным климатом								
1	-15	151	$\frac{6,2}{22}$	$\frac{6,9}{21,2}$	$\frac{7,4}{19,2}$	$\frac{4,6}{12,9}$	$\frac{5,1}{24,4}$	83
2	-10	118	$\frac{5,3}{19,5}$	$\frac{5,8}{21,7}$	$\frac{6,8}{16,8}$	$\frac{4,8}{15,3}$	$\frac{4,4}{17}$	82

*) NN пп табл. 9 соответствуют NN пп табл. 8

Водопотери (1, 1') и деформации (2, 2')
 свежеуложенного бетона, твердеющего
 в естественных условиях без ухода

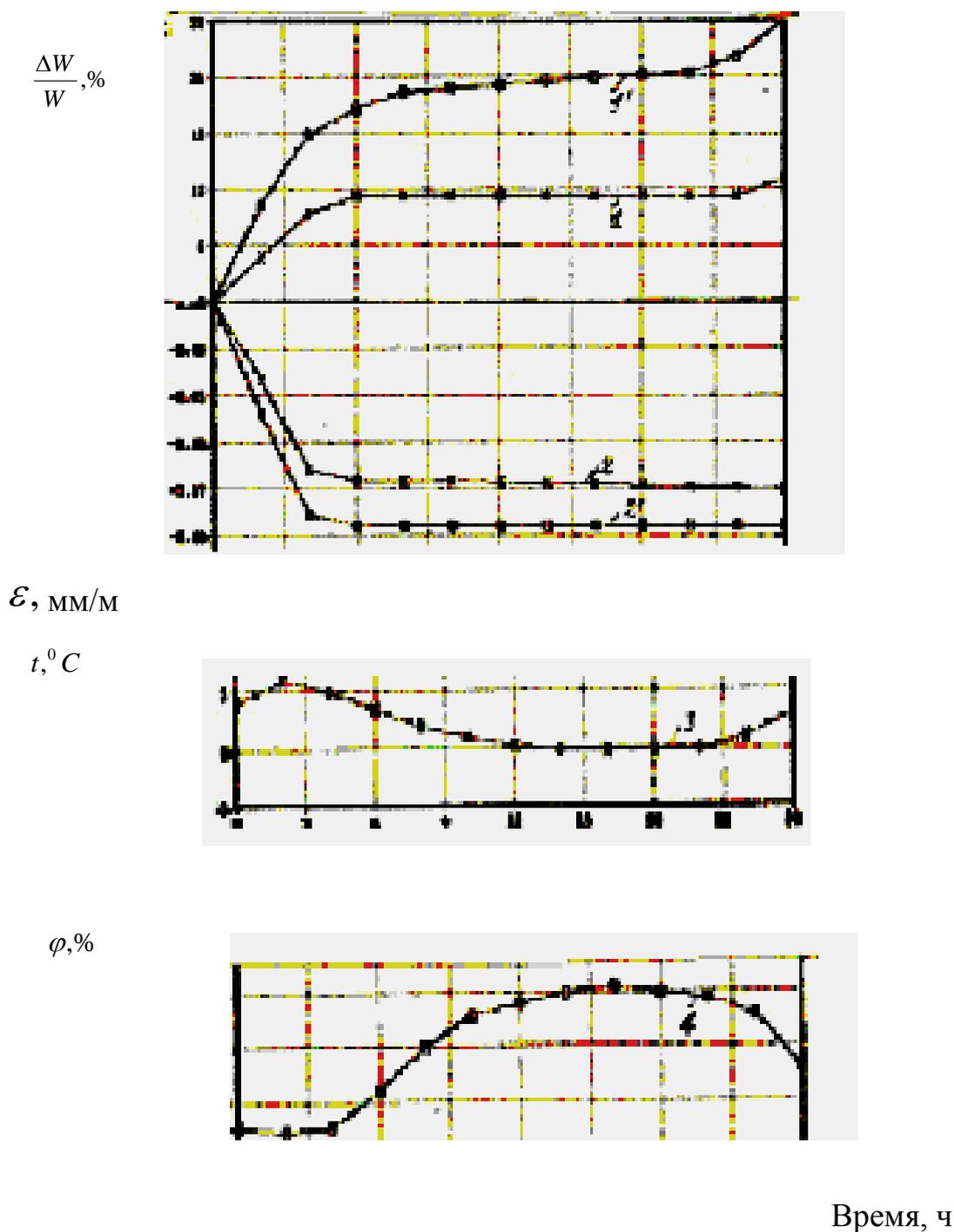
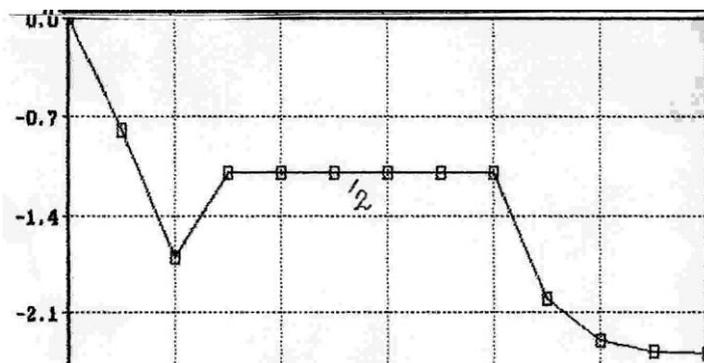
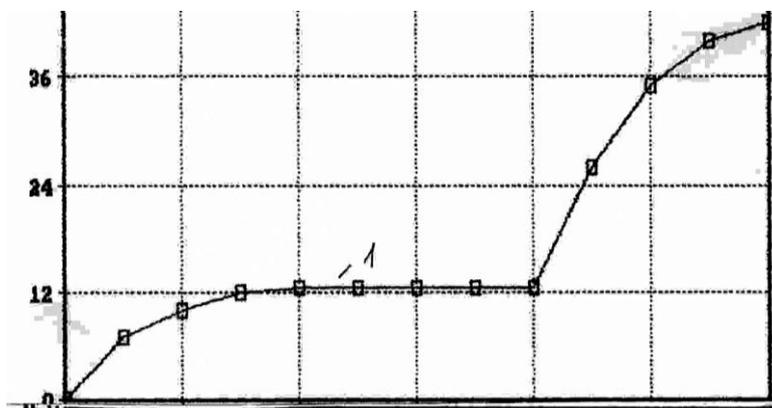


Рис. 9

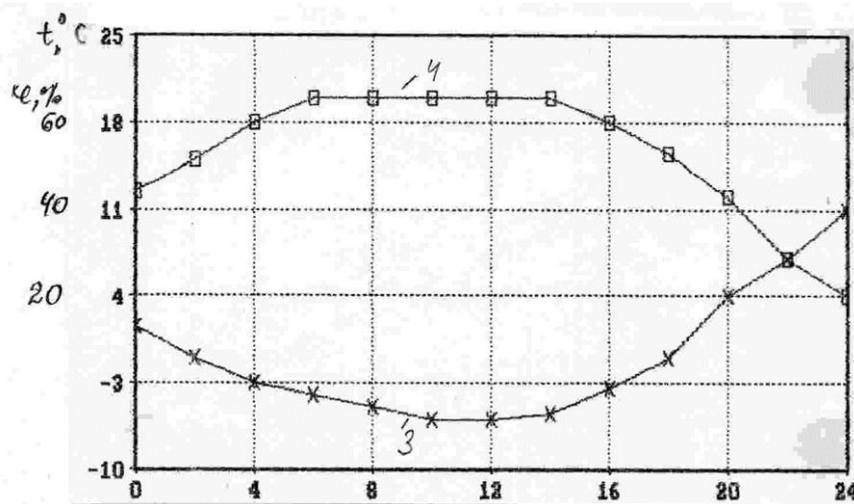
1,2- Мот.п = 10 м^{-1} ; 1', 2'- Мот.п = 30 м^{-1} ;
 3- температура; 4- относительная
 влажность наружного воздуха

Водопотери и деформации свежесуложенного бетона,
твердеющего в естественных условиях без ухода

$\frac{\Delta W}{W}, \%$



$\varepsilon, \text{мм/м}$



Время, ч.

Рис. 10

1-водопотери; 2-деформации ($M_{от.п} = 10 \text{ м}^{-1}$);
3-температура; 4-относительная влажность наружного воздуха

Из приведенных данных видно, что интенсивность влагопотерь свежееуложенного бетона, скорость протекания и общая величина деформации при температуре окружающей среды $+7...-2$ °С и относительной влажности 30...80 % существенно ниже, чем при твердении его в летнее время. Однако деформации бетона, величиной 1,75 - 2,0 мм/м, также могут ухудшить его формирующуюся структуру и снизить термо-морозостойкость.

Характер деформаций свежееуложенного бетона в зимнее время при $t < 0$ отличается еще и тем, что после протекания пластической усадки, достигшей в условиях опытов величины 1,5 мм/м, при снижении температуры среды ниже $-2...-3$ °С, наблюдается расширение бразцов (рис. 10), вследствие замерзания воды в капиллярах и порах бетона. В дневное время при переходе температуры окружающей среды в зону положительных или под воздействием солнечной радиации происходят дальнейшие водопотери бетона и связанные с ним деформации, что отрицательно влияет на его прочность и термо-морозостойкость.

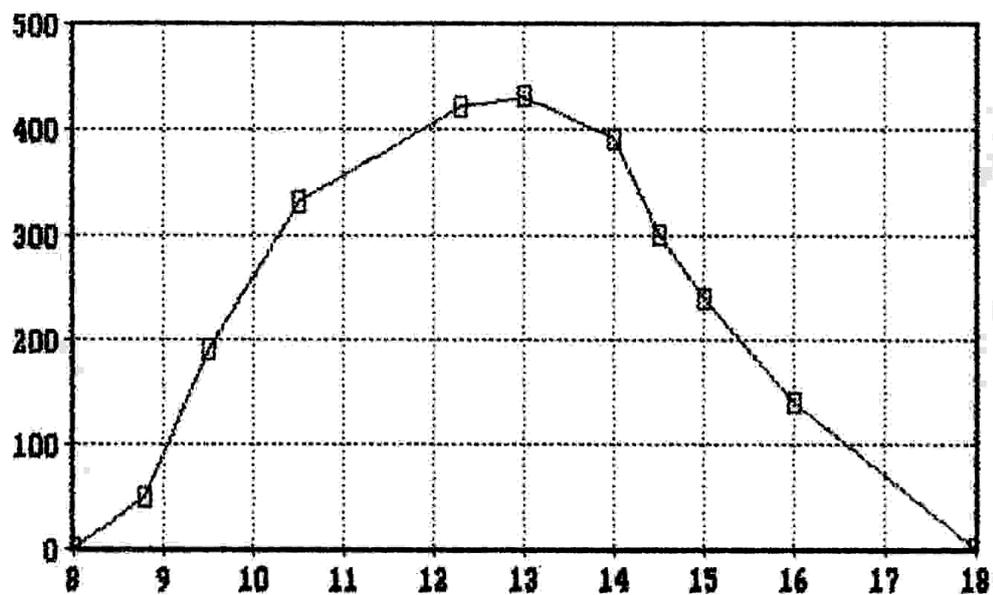
Нейтрализация негативных воздействий климата и эффективный прогрев бетона за счет солнечной энергии в зимнее время, вероятно, может быть достигнут использованием при бетонировании светопрозрачных термовлагоизоляционных покрытий (СТВП). С этой целью выполнены экспериментальные исследования влияния СТВП на температуру прогрева бетона в зимнее время и его свойства. Сначала определили интенсивность солнечной радиации в зимний период в районах с сухим жарким климатом.

Измерения интенсивности солнечной радиации, выполненные универсальным пиранометром (типа М-80м), подсоединенным к автоматическому стрелочному гальванометру (ГСА-1 МБ) показали, что в январе месяце на горизонтальную поверхность земли районов СЖК может поступать 400 и более $\text{Вт}/\text{м}^2$ солнечной энергии (рис.11). Общее количество энергии, поступающей за день составляет более $2,1 \text{ кВт}/\text{м}^2$. На вертикальные

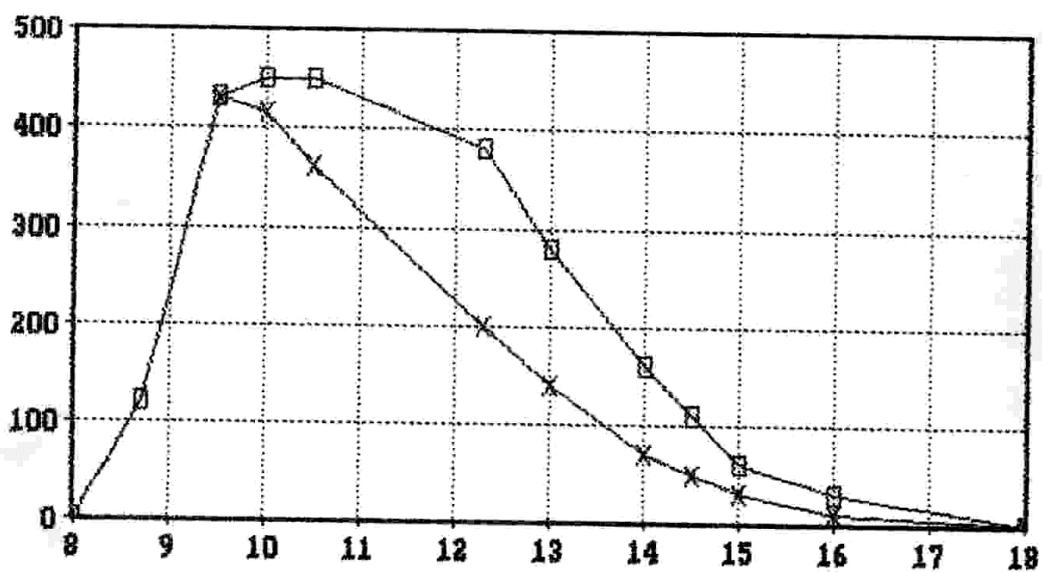
поверхности, в зависимости от ориентации по сторонам света, поступает различное количество энергии.

Показатели суммарной солнечной радиации
в зимнее время (январь) на различные поверхности

$I, \text{Вт/м}^2$



Горизонтальная поверхность



Время суток, ч

Вертикальная поверхность (восток)

Рис. 11

Максимальная интенсивность радиации, достигающая $700 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ч}$, при этом приходится на поверхность, ориентированную на юг, что в 1,75 раза больше энергии, поступающей на горизонтальную поверхность. Энергия поступающая на вертикальные поверхности северной, восточной и западной ориентаций составляет 100, 430 и 410 Вт/м^2 соответственно. На наклонные поверхности (кривые 2 на рис.11) поступает несколько меньшая энергия, чем на вертикальные.

При использовании солнечной радиации в зимний период необходимо обоснованно назначить количество слоев пленок в светопрозрачном термовлагоизоляционном покрытии. Измерения показали, что коэффициент пропускания радиации для полиэтиленовой ($\nu=100 \text{ мкм}$) и поливинилхлоридной ($\nu=200 \text{ мкм}$) пленок составляет 0,87 и 0,85. Следовательно, каждый дополнительный слой пленки в покрытии будет снижать поступающую радиацию на 13-15 %, что нежелательно в зимнее время при относительно невысокой интенсивности солнечной радиации.

На основании проведенных исследований была установлена эффективность однослойного светопрозрачного термовлагоизоляционного покрытия, использованного в качестве ухода за твердеющим монолитным бетоном.

Из рис. 12 видно, что температурные условия твердеющего монолитного бетона под однослойным покрытием лишь незначительно отличаются от показателя бетона, твердеющего под двухслойным покрытием. С учетом же расхода пленок в усложненной конструкции, однослойные покрытия оказались несколько эффективнее, чем многослойные.

Изменения температуры центральных зон
бетонных образцов-плит, твердеющих под СТВП

$t, ^\circ\text{C}$

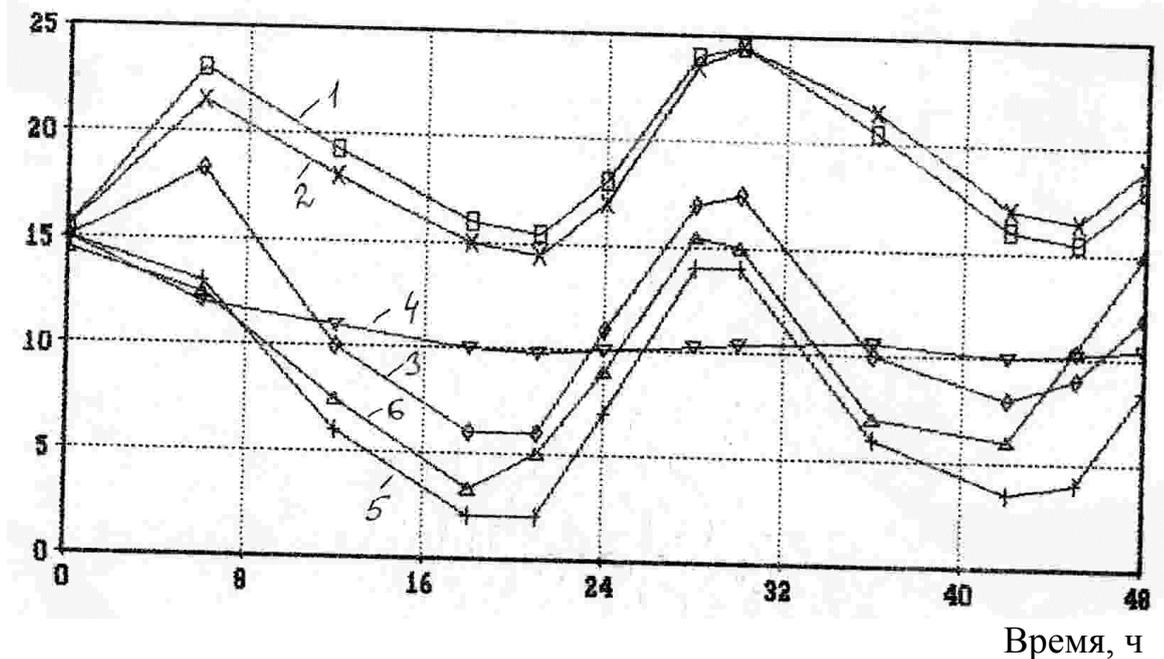


Рис. 12

- 1-СТВП на базе однослойной пленки; 2-тоже, двухслойной пленки;
3-под полиэтиленовой пленкой; 4-под минватой, толщиной 100 мм;
5-твердение без ухода; 6-температура окружающей среды

Анализ полученных данных показывает, что после укрытия поверхности свежееуложенного бетона однослойным покрытием ($\delta=50$ мм) его температура повышается с 15,5 до 23 °С, при температуре окружающей среды 4 - 14 °С. Скорость прогрева при этом составляет примерно 1 град/ч. Начиная с 17 ч. температура бетона снижается со скоростью 0,85 град/ч, составляя к утру следующего дня 15 °С. При укрытии же поверхности бетона двухслойным покрытием ($\delta=50+20$ мм) температура бетона также повышается до 23 °С со скоростью 1 град/ч, однако ее снижение происходит с несколько меньшей скоростью - 0,75 град/ч. Таким образом, кинетика прогрева бетона (в условиях данных экспериментов) отличается незначительно, что можно объяснить следующим обстоятельством. При применении однослойного покрытия с одной стороны несколько лучше проходит поток тепла для прогрева бетона, а с другой - термическое сопротивление однослойного покрытия несколько хуже, чем двухслойного. В целом же относительно низкая теплоизоляционная способность однослойного покрытия (нежели двухслойного) компенсируется лучшей пропускающей способностью солнечной радиации.

Выявлено, что температура бетона под однослойным СТВП примерно на 11-12 °С выше температуры наружного воздуха. Температура открытого бетона практически равна температуре наружного воздуха. Эффект от экзотермии цемента при этом полностью компенсируется испарительным охлаждением, которое оказалось более действенным фактором нежели тепловыделение бетона.

При укрытии бетона плотноуложенной полиэтиленовой пленкой его температура за счет исключения испарительного охлаждения повышается на 4...5 °С и в течение суток колеблется в интервале 7...19 °С. Из рис. 12 видно, что эффект от создания воздушной прослойки при этом существенный. Если зрелость бетона за одни сутки твердения его под плотноуложенной пленкой составляет 292 град.ч, то под СТВП - 444 град.ч., а через двое суток - 902 град.ч. Таким образом, при создании

одной герметизированной прослойки в 1,5 раза улучшается прогрев твердеющего бетона.

Исследования прогрева бетона под СТВП показали, что с увеличением толщины воздушной прослойки до 50-100 мм несколько повышается термическое сопротивление, способствующее меньшим теплотерям бетона в окружающую среду через верхнюю поверхность. В результате этого наблюдается некоторое повышение температуры бетона при увеличении толщины воздушной прослойки. За оптимальную при этом можно принимать толщину, равную 50 мм.

Выявлено, что поверхность бетона (на 5-10 мм ниже) характеризуется несколько быстрым прогревом и охлаждением, нежели центральные зоны образцов. В первой половине дня при твердении под светопрозрачным термовлагоизоляционным покрытием поверхность бетона за счет непосредственного воздействия солнечной радиации прогревается быстрее и сильнее. Радиационные воздействия со временем перемещаются в центральные и нижние зоны образца. Со снижением интенсивности солнечной радиации температуры верхних зон бетона несколько отстают от температур нижних зон образцов, но в целом, в зимнее время зрелость бетона в верхних и центральных зонах образцов практически одинаковая, что может свидетельствовать об однородности прочности бетона по всей толщине конструкции.

При снижении температуры среды до -4°C , температура бетона не только в центральных зонах, а также и в верхних зонах даже на шестые сутки не снижается ниже 0°C и все время находится в зоне положительных температур. Следовательно, на поверхности твердеющих бетонных конструкций не происходит замерзание жидкой фазы и создается благоприятное условие для твердения бетона.

В этих условиях за трехсуточное твердение под всеми покрытиями (одно-, двух- и трехслойными) бетон набирает практически одинаковую

прочность, составляющую 12...12,2 МПа. Аналогичные зависимости имели результаты исследований распространения ультразвука, скорость прохождения которого в бетонных кубиках при этом составила $3,91 \times 10^3 \dots 3,96 \times 10^3$ м/с. Скорость звука в бетонных плитах оказалась несколько больше, нежели в кубиках и составила $4,08 \times 10^3 \dots 4,1 \times 10^3$ м /с, что показывает некоторый лучший прогрев бетона в плитах за счет относительно большего эффекта от экзотермии цемента.

При дальнейшем выдерживании бетона под покрытиями продолжается набор прочности, составляющий в возрасте 7 сут 19,1...19,3 МПа. Скорость звука в бетоне (В/Ц=0,5) 7 суточного возраста при этом составила в кубах $4,14 \times 10^3 \dots 4,2 \times 10^3$, а в плитах $4,19 \times 10^3 \dots 4,22 \times 10^3$ м/с. В 7-суточном возрасте прочность бетона в кубиках, примерно, равна прочности бетона в плитах, что должно быть учтено при оценке прочности твердеющих конструкций в рассматриваемых условиях.

На рис. 13 представлены результаты исследований прогрева бетона, твердевшего под однослойным светопрозрачным термовлагоизоляционным покрытием при температуре окружающей среды, снижающейся до - 18 °С.

Изменения температуры бетона под СТВП при температуре окружающего воздуха +1...-18° С

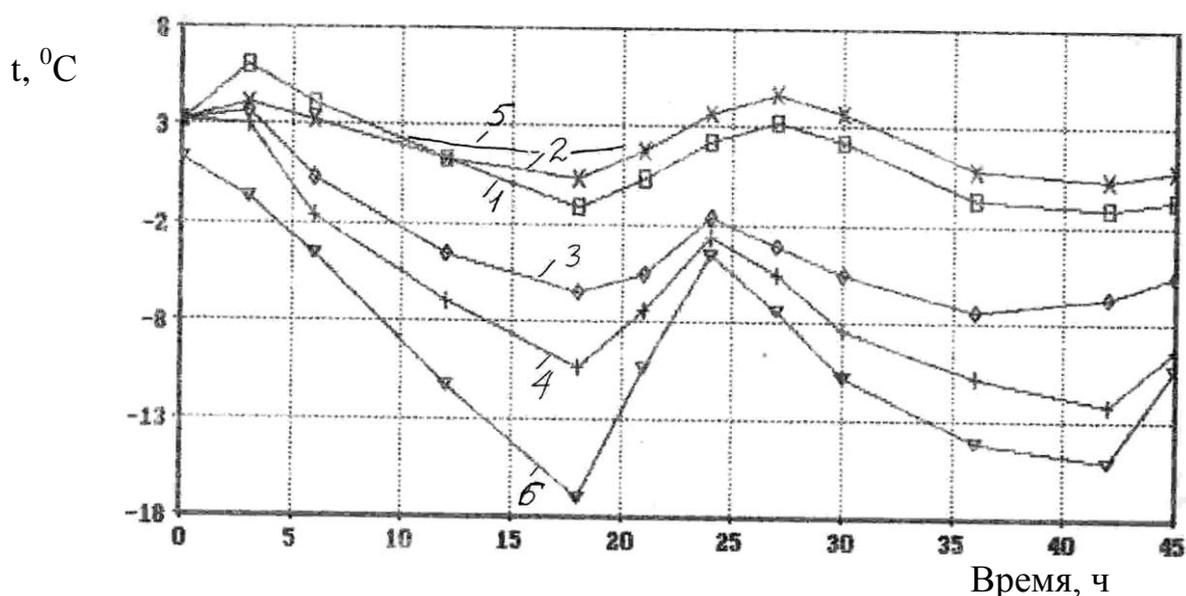


Рис. 13

1-, 2- на 5 и 75 мм ниже от поверхности бетона, укрытого СТВП; 3- на 5 мм ниже от поверхности бетона, укрытого плотноуложенной пленкой; 4- тоже, вердевшего без ухода; 5- температура окружающей среды

Исследования показали, что температура поверхности бетона к 16 ч дня несколько повысилась, составляя $+5^{\circ}\text{C}$. Прогрев бетона происходил несмотря на то, что за данный промежуток времени температура окружающей среды снижалась с $+1$ до -1°C . Понижение температуры окружающей среды со временем до -16°C , привело также и к снижению температуры бетона, однако со значительно меньшей скоростью, составляющей $0,5$ град/ч. В 7 ч утра при температуре наружного воздуха

-16°C минимальная температура бетона в центральных зонах была не ниже $-0,5^{\circ}\text{C}$, а на его поверхности - не ниже $-1...-2^{\circ}\text{C}$, что имеет место недолгое время (1...3 ч).

Необходимо отметить, что минусовая температура бетона наблюдалась не сразу после укладки смеси в опалубку, а через 15...18 часов твердения его при положительных температурах, т.е. после набора бетоном определенной структурной прочности. Для твердеющего бетона наиболее опасным является значение температуры, равной $-2...-3^{\circ}\text{C}$. В этих условиях в свежеуложенном бетоне, еще не имеющем определенной структурной прочности, происходит скачкообразный переход жидкой фазы в ледяное состояние .

С поступлением солнечной радиации и повышением температуры среды на следующий день снова происходит повышение температуры бетона до $+3^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха -7°C . Таким образом, при более низких отрицательных температурах окружающей среды, хотя и редко наблюдаемых в районах с сухим жарким климатом, применение

светопрозрачных термовлагоизоляционных покрытий может дать значительный эффект.

Из того же рис. 3.23 видно, что при укрытии бетона полиэтиленовой пленкой его температура все время находится в зоне отрицательных температур, составляя ниже -2°C . В наиболее холодное время суток температура бетона снижалась до -7°C . При твердении бетона без ухода температура его оказывается все время ниже 0°C и колеблется в пределах $-3...-12^{\circ}\text{C}$.

В пасмурную погоду ($I=200 \text{ вт/м}^2$) при температуре окружающей среды -7°C укрытие бетона покрытием СТВП обеспечивает необходимые условия его твердения. На четвертые сутки твердения, когда замедляется процесс экзотермии цемента, температура бетона под СТВП не снижается ниже $-1...-1,5^{\circ}\text{C}$, при температуре окружающей среды -7°C . На 11...13- сутки твердения температура бетона под покрытием снижается до -4°C , при температуре наружного воздуха -18°C и до -3°C при -14°C , что свидетельствует о значительном затухании экзотермии цемента.

Ввиду того, что оценку прочности бетона на сжатие производят испытанием кубиков, изучали изменение температуры этих образцов, выдержанных в условиях, одинаковых с бетонными плитами. Результаты испытаний образцов-плит и кубиков несколько отличаются в первые 2 сут твердения бетона под покрытием. Например, если температура центральных зон плит в 7 ч утра не снижалась ниже $-0,5^{\circ}\text{C}$, то температура надежно теплоизолированных бетонных кубиков была $-2,5^{\circ}\text{C}$. Кроме того, максимальная температура прогрева бетона в кубиках оказалась также ниже температуры плит. На 11...13 сутки твердения бетона температура прогрева его в кубиках с ребром 10 см и плитах не отличаются друг от друга, что свидетельствует об отсутствии эффекта экзотермии цемента.

Необходимо отметить, что при твердении бетона под пленкой или без нее, его температура в кубиках и плитах существенно не отличается.

Температура бетонного кубика (на поверхности) при этом оказалась равна, а в отдельное время даже ниже температуры среды. Эти факторы должны быть учтены при оценке прочности бетона в реальных конструкциях. Таким образом, анализ показал, что разница в температуре прогрева испытанных кубиков и плит при прочих равных условиях в основном зависит от степени и способа укрытия бетона.

Анализ и обобщение проведенных исследований показывает, что использование светопрозрачных термовлагоизоляционных покрытий в качестве ухода за бетоном и в зимнее время, позволяет эффективно использовать солнечную энергию и создает благоприятные условия для твердения его за счет гелиопрогрева. Дальнейшее повышение эффективности разработанного способа может быть достигнута комплексным использованием экзотермии цемента, теплоты грунта, противоморозных добавок, разогрева бетона и других приемов.

Для выявления роли экзотермии цемента при прогреве выполнены эксперименты на бетоне (В/Ц=0,55) и модельном теле, в котором цемент был заменен тонкомолотым кварцевым песком. Эффект от экзотермии определяли по методике, предложенной в работе.

Исследования показали, что в результате тепловыделения цемента центр бетонного образца за 6 ч прогревался до 16 °С, в то время как температура аналогичной зоны в модельном теле составила 13 °С (рис. 14). Примерно такую же разницу температуры наблюдали и в других точках образцов. Разница в количестве теплосодержаний происходила за счет экзотермии цемента в бетоне.

На стадии разогрева образцов разность их теплосодержаний при достижении максимальной температуры составляет :

$$\Delta J = C\rho V \frac{t_M - t_H}{t'_M - t'_H}$$

где C - удельная теплоемкость бетонной смеси и модельного тела, Вт.ч/кг.град;

ρ - средняя плотность бетонной смеси и модельного тела, кг/м³ ;

V - объем образцов, м;

t'_H, t_H - начальная температура нагрева бетонного образца и модельного тела, град;

t_M, t'_M - тоже, максимальная температура нагрева, град.

Согласно вышеуказанной формуле значение ΔJ равно:

$$\Delta J = 0,25 \times 2400 \times 0,24 [(16 - 7) - (13 - 7)] = 43,2 \text{ Вт.ч}$$

Изменение температуры центра образцов бетона и модельного тела, укрытых СТВП, в течение суток

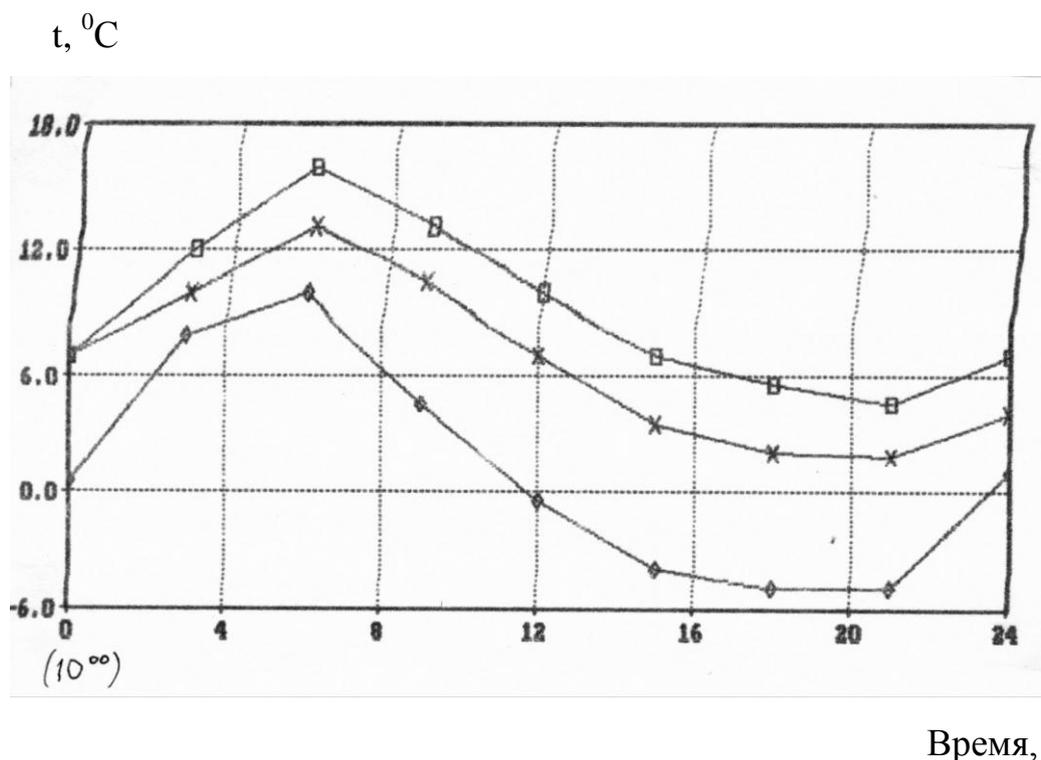


Рис. 14

1-прогрев бетона;

2-прогрев модельного тела;

3-температура окружающей среды

Если допустить, что теплотери бетонного образца и модельного тела на стадии подъема температуры одинаковы, можно принять $\Delta J = q_3^p$, где q_3^p - количество тепла, выделенное в бетоне при гидратации цемента к моменту достижения максимальной температуры, вт.ч.

Степень участия теплоты гидратации цемента в общем расходе тепла на прогрев бетона под покрытием СТВП составляет:

$$\eta = \frac{q_3^p \times 100}{C\rho V \left[\sum_{t=1}^n \frac{(t_M - t_H)}{n} \right]} = 33,4\%$$

Таким образом, при прогреве бетона под СТВП 30...35 % тепла поставляется внутренним источником энергии-экзотермией цемента, что должно быть учтено при бетонировании в зимнее время с использованием СТВП.

В зимнее время при гелиотермообработке, основания монолитных конструкций в ряде случаев могут поставлять дополнительное количество тепла, идущего из нижних слоев грунта, а также аккумулированного им в дневное время, что будет способствовать поддержанию температуры бетона и обеспечит его необходимыми условиями формирования структуры и твердения.

Исследователями выявлено, что прогрев монолитного бетона, имеющего непосредственный контакт с основанием до температуры среды $-5...-10$ °С, происходит менее эффективно, чем гелиопрогрев бетона с теплоизолированным поддоном (рис.15).

На рис. 16. представлены результаты исследований, полученные при изучении температурных полей бетона и грунтового основания. Измерения показали, что температура бетона на поверхности, в центральных зонах и в нижней части образцов изменяется в соответствии с известными

закономерностями. Грунт, лежащий под бетоном (на 10 мм ниже) имеет несколько меньшую температуру, нежели грунт, расположенный под лабораторным стендом, где в течении суток температура практически не изменяется, составляя примерно 10 °С.

Изменение температуры бетонного образца-плит
под СТВП в течение суток

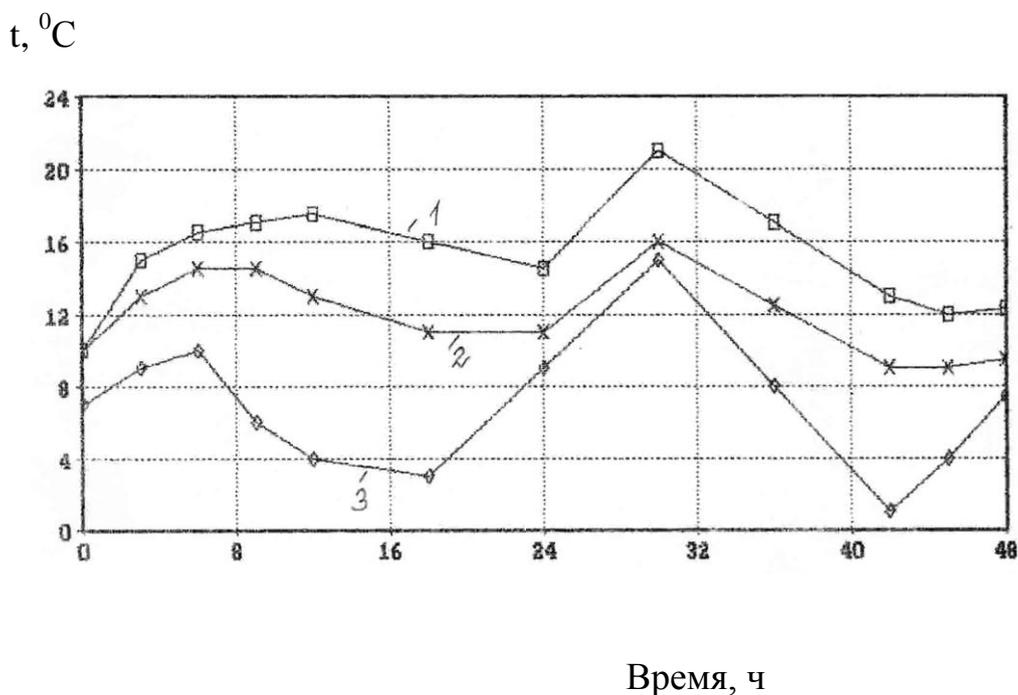


Рис. 15

1-с теплоизолированным поддоном;
2-без него; 3-температура окружающей среды

В ночное же время прогрев верхней части грунта и нижней части бетона происходит за счет тепла, перемещаемого от нижележащих его слоев. Таким образом, в зимних условиях в ночное время наблюдали приток тепла от грунта, способствующего поддержанию температуры бетона в нижних, центральных и верхних зонах. Об этом также свидетельствует, например,

и то, что несмотря на снижение температуры наружного воздуха до $-16...-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура бетона не снижается ниже $-1...-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис.13). Если разница в значениях температуры бетона и воздуха всегда составляла $10-11\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в этом случае она равна $14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, с понижением температуры окружающей среды усиливается процесс притока тепла от грунта для прогрева бетона. Этим самым для твердеющего бетона, укрытого СТВП, в зимнее время создаются благоприятные температурные условия.

Изменение температуры грунта и бетона под СТВП в течение суток

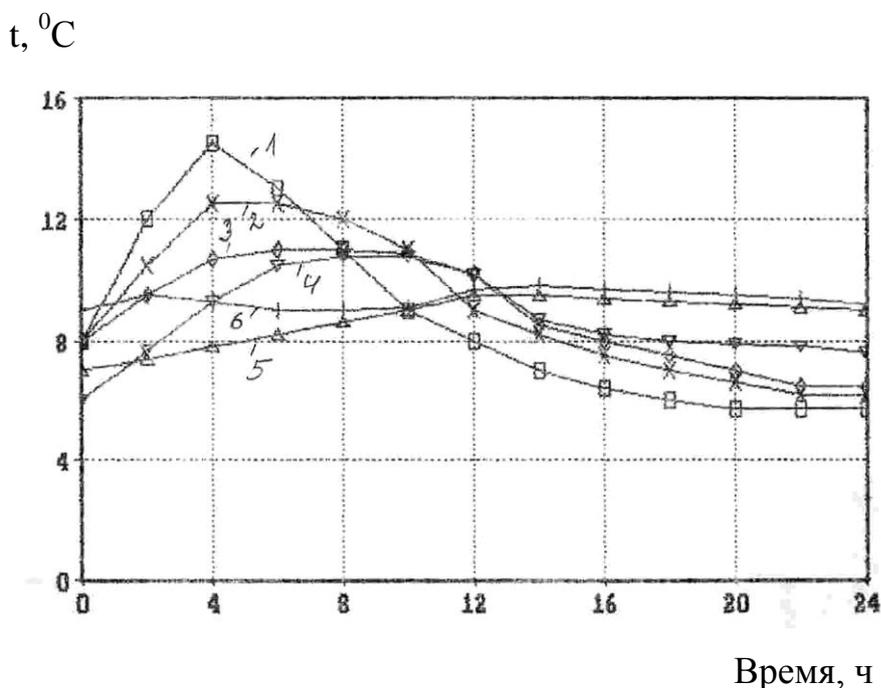


Рис. 16

- 1,2,3-прогрев бетона на 5,75,145 мм ниже его поверхности;
- 4, 5-прогрев грунта на 10,300 мм ниже от подошвы образца;
- 6- температура грунта под лабораторным стендом

При изучении прочности бетона, в экспериментах обеспечены одинаковые условия прогрева образцов-кубиков и плит. Для исключения масштабного фактора на одном месте под покрытием выдерживали не один испытательный кубик, а группу состоящих из 12-15 шт плотно

прилегающих друг к другу кубиков. В общей сложности размерность массива была приведена к массивности плиты, находящейся в экспериментальном стенде.

Зрелость бетона за одни сутки твердения его в зимнее время под СТВП составила 322 град.ч (см. рис. 12), что в 1,4 раза больше зрелости бетона, твердевшего под пленкой и в условиях "термоса". Зрелость бетона, твердевшего без ухода при этом равна 176 град.ч, что в 1,8 раза меньше, чем при твердении его под СТВП. Кроме того, при твердении бетона без ухода температура его переходила через 0 °С и снижалась до -2 °С при температуре окружающей среды -6 °С.

Анализ результатов испытаний показал (табл. 15), что через 3 сут бетон набирает 34,6 % от марочной прочности. При применении же полиэтиленовой пленки и способа "термоса" для достижения примерно такой же прочности потребовалось бы 7 сут. Бетон, твердевший в этих условиях без ухода, имеет самую низкую прочность, составляющую 18,2 и 70,7 % от марочной в возрасте 1 и 28 сут соответственно.

Таблица 15

Кинетика нарастания прочности бетона, выдержанного
в зимнее время под различными покрытиями

Условия твердения бетона	Продолжительность ухода, сут	R бетона (МПа-перед чертой, %% -после черты) в возрасте, сут		
		3	7	28
Под покрытием СТВП	3	12,2/34,6	-	32,6/92,6
	7	12,2/34,6	19,1/54,3	34,6/98,3
Под плёнкой	3	8,5/24,1	-	25,4/71,2
	7	8,5/24,1	12,6/35,8	32,9/93,5
В условиях «термоса»	3	10,2/29	-	29/82,4

	7	10,2/29	13,4/38,1	33,7/95,7
Без ухода (мот.п.=10м ⁻¹)	-	6,4/18,2	-	24,9/70,7
В нормальных условиях	28	-	-	35,2/100

В другом эксперименте, проведенном при низких отрицательных температурах среды (-16...-18 °С), получены заниженные результаты прочности в рассмотренных возрастах, что свидетельствует о замедлении процесса твердения бетона. Испытания показали, что в этих условиях при 7 сут. твердения бетона под светопрозрачным термовлагоизоляционным покрытием его относительная прочность составляет 23 % от марочной.

Относительная прочность бетона, твердевшего под полиэтиленовой пленкой при этом составила 12,3 %. При 28 сут выдерживании бетона под СТВП его прочность достигала 48,6 %, при использовании же пленки она не превышала 25,3 %. Бетон, твердевший все время без ухода, в этом возрасте набирал прочность, равной 19,6 %.

В табл. 16 представлены результаты исследований стойкости бетона, твердевшего в зимнее время в различных условиях ухода. Приведенные данные свидетельствуют о том, что использование СТВП в качестве ухода и в зимнее время позволяет значительно увеличить ТМрз бетона.

Таблица 16

Влияние способов ухода на стойкость бетона зимнего твердения

Условия твердения бетона	R бетона в возрасте 28 сут, МПа	R бетона (МПа – над чертой, % под чертой) после 60 циклов нагрева и следующего числа циклов замораживания и оттаивания			ТМрз, 60+F циклы +F
		0	100	200	

1. Укрытие бетона СТВП	29,8	$\frac{33,7}{100}$	$\frac{34,2}{101}$	$\frac{27,1}{80}$	+160
2. В условиях «термоса»	27,4	$\frac{31,2}{100}$	$\frac{31,9}{102}$	$\frac{21,9}{73}$	+140
3. Без ухода	19,7	$\frac{22,0}{100}$	$\frac{14,6}{66}$	-	+65

Дальнейшее повышение эффективности применения СТВП достигается за счет комбинации ее с использованием химических противоморозных добавок, что подтверждено экспериментально (табл.17).

Таблица 17

Показатели прочности и ТМрз бетона
с противоморозными добавками

Вид добавки и её кол-во в % от массы цемента	R бетона, МПа	R бетона (МПа-над чертой, %%-под чертой) после 60 циклов нагрева и следующего числа циклов замораживания и оттаивания				ТМрз, 60+F циклы +F
		0	100	200	300	
Без добавки	34,6	$\frac{45,6}{100}$	$\frac{45,6}{100}$	$\frac{34,7}{77}$	$\frac{32,6}{72}$	+120
ХК (2 %)	37,9	$\frac{43,3}{100}$	$\frac{47,8}{110}$	$\frac{51,2}{117}$	$\frac{38,8}{88}$	+250
НН (3 %)	26,7	$\frac{34,1}{100}$	$\frac{38,0}{111}$	$\frac{37,9}{120}$	$\frac{38,3}{112}$	+300
Сольамин (3 %)	32,8	$\frac{45,3}{100}$	-	$\frac{46,6}{109}$	$\frac{46,6}{109}$	+300

Примечание: В/Ц = 0,55; состав 1:2:4,2; Ц=360 кг/м³.

Из полученных результатов видно, что при использовании противоморозных добавок и покрытий СТВП значительно повышается термо-морозостойкость бетона.

Повышение термо-морозостойкости при использовании противоморозных добавок объясняется тем, что их солевые кристаллы являясь дополнительными амортизаторами способствуют снятию напряжений в структуре бетона, возникающих при испытании. Кроме того, в случае введения исследуемых добавок в состав бетона в контактных зонах его структуры создаются шероховатые трения за счет кристаллов солей, находящихся в жидкой фазе, что усиливает прочность контактных зон, и в целом повышающих термо-морозостойкость бетона.

Кроме того, при использовании CaCl_2 в качестве противоморозной добавки в цементном камне наряду с гидрохлоралюминатом кальция образуется гидроксихлорид кальция - $3\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Образуясь в виде удлинённых призматических кристаллов, это соединение "армирует" формирующуюся структуру цементного камня и способствует повышению его прочности. Наличие клинкерных зерен и продуктов гидратации обеспечивает оптимальную микроструктуру и термо-морозостойкость бетона.

Практическая реализация УВП и СТВП, как эффективного способа ухода за бетоном в условиях СЖК осуществлена при строительстве. Как видно из фотографий (рис.18) бетонные плиты изготовленные без ухода растрескивались и практически разрушались через 1 год эксплуатации. При использовании СТВП, изготовленные плиты даже через 10 лет эксплуатации сохранили свое первоначальное качество и не имели видимых трещин.

Общий вид бетонных плит, выдержанных
в естественных условиях 10 лет

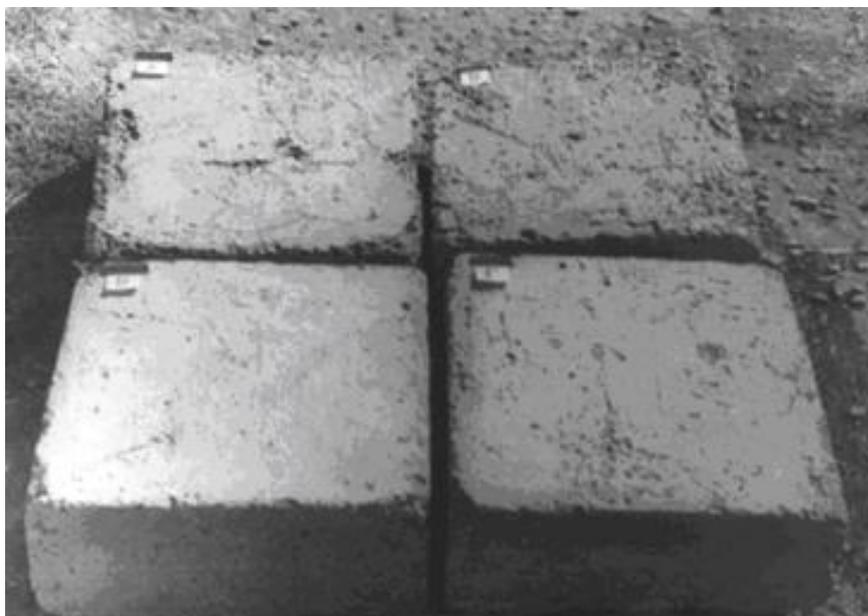


Рис. 18

Вид трещин, образованных на поверхности
плит, выдержанных все время без ухода

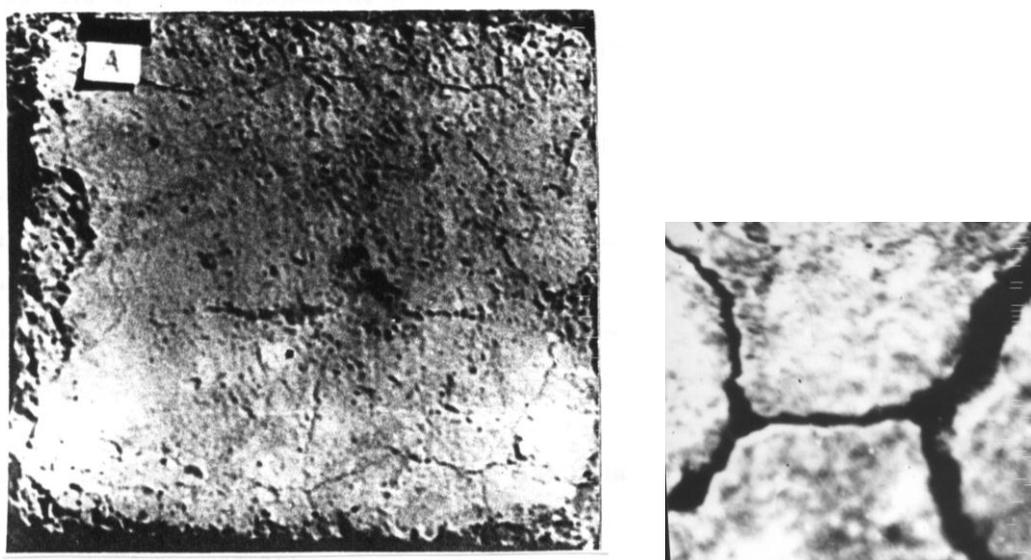


Рис. 19

Ряд открытых конструкций зданий и сооружений, например, наружные кровельные и стеновые панели, лотки ирригационных каналов, дорожные и тротуарные плиты, изготовленные в открытых цехах, на полигонах и др. заводских условиях в процессе строительства и эксплуатации также подвергаются воздействиям сильного циклического нагрева и охлаждения в летнее время и частому замораживанию и оттаиванию в зимнее, что показывает необходимость изучения и разработки технологических приемов повышения термо-морозостойкости теплообработанного бетона.

ВЫВОДЫ

Изучена рациональная продолжительность последующего ухода за твердеющим бетоном. По литературным данным выявлена величина критической прочности относительно влагопотерь, составляющей $0,5-0,7R_{28}$ и $0,6-0,7R_{28}$ для составов бетона соответственно с добавками и без них. Использование эффективного последующего ухода за твердеющим бетоном, используя солнечную энергию в 2,5-3,0 раза повышает прочность.

Показана взаимосвязь между показателем зрелости (условное теплосодержание) и начальной прочностью бетона (1-3 сут), твердеющего в условиях ухода.

Наибольшая эффективность использования безвлажных способов ухода за твердеющим бетоном. Исходя из недостатков известных, для безвлажного ухода выявлено покрытие, представляющее собой полиэтиленовую пленку, дублированную мешковиной (УВП). Её применение эффективно при бетонировании монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

Для плоских горизонтальных монолитных конструкций, в том числе и для зимнего бетонирования в районах с СЖК, выявлен способ ухода за твердеющим монолитным бетоном с применением светопрозрачного термовлагоизоляционного покрытия (СТВП), позволяющего эффективно использовать солнечную радиацию, экзотермию цемента, теплоту грунта и повысить T_{Mrz} .

Оптимизированы параметры покрытия, получена количественная зависимость условного теплосодержания от количества слоев, светопропускающей способности и толщины воздушной прослойки. Установлено, что оптимальное и наибольшее теплосодержание обеспечивается при однослойном полиэтиленовом покрытии с толщиной воздушной прослойки 50-100 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминов Э.Х. Климат и бетон. Ташкент, Мехнат, 1988 г., 183 с.
2. Атаев А.И. Рост прочности и усадки бетона, твердеющего в условиях сухого жаркого климата. В кн.: Материалы I Всесоюзного координационного совещания по проблеме "Технология бетонных работ в условиях жаркого климата. Ташкент, 1974, с.118-121.
3. Ашрабов А.Б., Нарзуллаев Ф. Нарастание прочности обычного и керамзитобетонов в летних условиях Узбекистана. Труды ТашПИ, вып. 11, Ташкент, 1959 г., с. 57-64.
4. Баум В.А. и др. Использование солнечной энергии в народном хозяйстве СССР. Сб.трудов. Москва, Наука, 1965 г., с. 127.
5. Вахитов М.М., Икрамов И.И. Влияние влажностных и безвлажностных способов ухода на долговечность бетона. Там же, с. 62-68.
6. Вахитов М.М. Ускорение твердения бетона в теплоизолирующих гелиостендах. Архитектура и строительство Узбекистана, 1987 г., N 3, с.1 - 4.
7. Вахитов М.М., Ускорение твердения бетона монолитных плоских и протяженных конструкций в условиях сухого жаркого климата. Научно-технический отчет. Бухара, Бухарский технологический институт, 1987 г., 118 с.
8. Данилов Н.Н. Инфракрасный нагрев в технологии бетонных работ и сборного железобетона. Дисс... доктора техн. наук. Москва, МИСИ, 1970 г., 467 с.
9. Заседателев И.Б. Теплота гидротации цемента как энергетический потенциал ускоренно твердевшего бетона. В кн.: Пути снижения энергетических затрат в промышленности сборного железобетона. Москва, 1981 г., с. 90-98.
10. Заседателев И.Б.,Малинский Е.Н.,Темкин Е.С. Использование солнечной энергии для тепловой обработки железобетонных изделий. Бетон и железобетон, 1983 г., N 9, с. 2-3.

11. Зияев Т. Исследование использования солнечной энергии для тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий. Дисс....канд. техн. наук. Ташкент, 1976 г., 115 с.
12. Миронов С.А., Малинина Л.А. Ускорение твердения бетона. Москва, Госстройиздат, 1961 г., 224 с.
13. Миронов С.А., Малинский Е.Н. Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата. Москва, Стройиздат, 1985 г., 316 с.
14. Подгорнов Н.И. Использование солнечной энергии при изготовлении бетонных изделий. Москва, Стройиздат, 1989 г., 144 с.
15. Подгорнов Н.И. Влияние солнечной радиации на твердение бетона. Бетон и железобетон, 1979 г., N 3, с. 5.
16. Приев А.М. Ускорение монолитного бетона за счет использования солнечного тепла. Архитектура и строительство Узбекистана, 1983 г., N 5. с. 33-34.
17. Пунагин В.Н. Технология бетона в условиях сухого жаркого климата. Ташкент, 1977 г., 222 с.
18. СНиП III-15-76. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ. Москва, Стройиздат, 1977 г.
19. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. Москва, Стройиздат, 1985 г.
20. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. Москва, Стройиздат, 1986 г.
21. СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. Москва, Стройиздат, 1985 г.
22. Тахиров М.К., Алланазаров А. Интенсификация твердения бетонных изделий в гелиоустановке. В кн. N 1: Материалы международной научно-технической конференции по проблеме гелиотехнологии и долговечности бетонов в условиях сухого жаркого климата (12-14 октября). Бухара, 1992 г., с.138-140.
23. Материалы из Интернета: