



ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОЗРАЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОНА В ОПАЛУБОЧНЫХ ФОРМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Д. Д. КОРОТЕЕВ, М. ХАРУН

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

Опалубочные формы, оснащенные инвентарными рамами с прозрачным покрытием, являются простейшими гелиотехническими устройствами для тепловой обработки железобетонных изделий при производстве их на полигонах при заводах ЖБИ. По своему конструктивному решению и теплофизическим процессам, протекающим в них, они схожи с солнечными коллекторами, с разницей в том, что теплоприемником является твердеющий бетон. В статье приведены результаты исследований влияния конструкции прозрачного покрытия на эффективность термообработки бетона в опалубочных формах при использовании солнечной энергии в различных климатических условиях. Количество теплоты, поглощенное и потерянное бетоном при прямом нагреве его солнечной энергией в простейших гелиотехнических устройствах типа плоского коллектора, зависит от конструкции прозрачного покрытия. При прочих равных условиях, увеличение количества слоев покрытия негативно влияет на его прозрачность, характеризующуюся коэффициентом пропускания солнечной энергии, но при этом снижает тепловые потери в окружающую среду, характеризующиеся коэффициентом тепловых потерь через прозрачное ограждение. Для оценки эффективности тепловой обработки железобетонных изделий выбраны однослойное и двухслойное прозрачные покрытия, так как увеличение слоев больше двух снижает интенсивность нагрева теплоприемника в дневное время суток и признано учеными в области гелиотехники нецелесообразным. На основе энергетической оценки в результате теплофизических расчетов и экспериментальных исследований выявлено оптимальное количество слоев прозрачного материала в конструкции покрытия. Помимо энергетической оценки, учтены экономические затраты на изготовление конструкции прозрачного покрытия при увеличении его слоев.

Ключевые слова: термообработка бетона, солнечная энергия, опалубочная форма, прозрачное покрытие, энергетическая эффективность

Эффективность тепловой обработки железобетонных изделий с использованием солнечной энергии в опалубочных формах с прозрачным покрытием в значительной степени зависит от конструкции покрытия, в частности, количества слоев и материала, из которого оно изготовлено (рис. 1).

Выбор материала покрытия определяется способностью его пропускать солнечное излучение и выдерживать эксплуатационные нагрузки в процессе изготовления изделий.

Увеличение количества слоев прозрачного покрытия снижает количество теплоты, поглощенное бетоном, за счет уменьшения коэффициента пропускания солнечного излучения и увеличения площади затеняемой поверхности бетона (1):

$$\kappa = \kappa_m + \kappa_n \cdot \kappa_{огр}^{инт} - 1 \quad (1)$$

где κ – коэффициент пропускания солнечной радиации прозрачным ограждением; κ_m – коэффициент затенения; $\kappa_{огр}^{инт}$ – интегральный коэффициент пропускания прозрачного ограждения (зависит от угла падения прямой солнечной радиации, количества слоев и материала прозрачного ограждения); κ_n – коэффициент запыления.

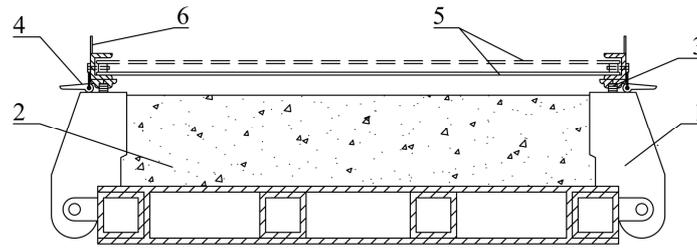


Рис. 1. Принципиальная схема опалубочной формы, оснащенной штатной инвентарной рамой с прозрачным покрытием

1 – опалубочная форма; 2 – свежееотформованный бетон; 3 – гибкая уплотняющая прокладка; 4 – зажим-фиксатор; 5 – однослойное или двухслойное прозрачное покрытие штатной инвентарной рамы; 6 – монтажные петли

В то же время, увеличение слоев прозрачного ограждения снижает потери в окружающую среду (2):

$$U_{пот}^{оз} = \left(\frac{1}{h_k^{\delta-n} + h_l^{\delta-n}} + \frac{1}{h_k^{n_1-n_2} + h_l^{n_1-n_2}} + \dots + \frac{1}{h_k^{n_{n-1}-n_n} + h_l^{n_{n-1}-n_n}} + \frac{1}{h_k^{n-o} + h_l^{n-o}} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где $U_{пот}$ – коэффициент тепловых потерь через прозрачное ограждение, Вт/(град·м²);

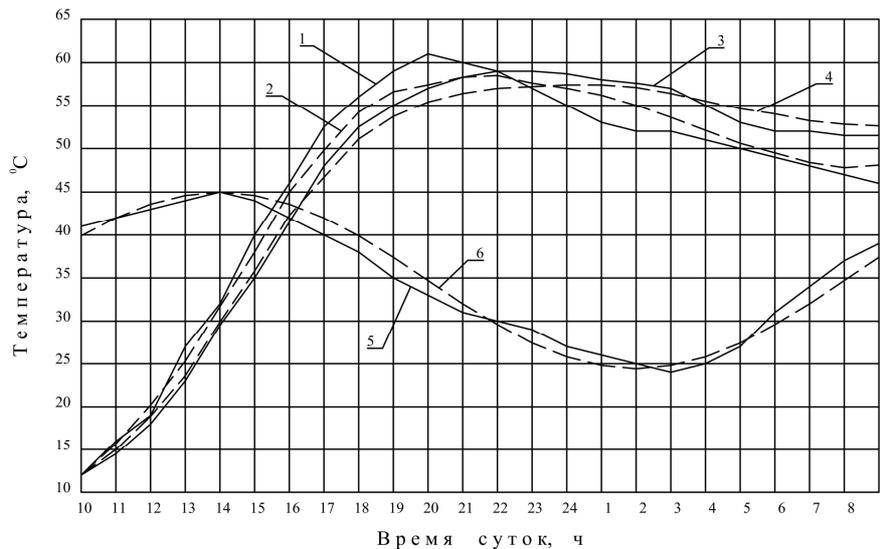


Рис. 2. Температура бетона, твердеющего в опалубочной форме с однослойным и двухслойным прозрачным покрытием в климатических условиях 44° с.ш., июль

1 – температура бетона под однослойным покрытием (эксперимент); 2 – расчетная температура бетона под однослойным покрытием; 3 – температура бетона под двухслойным покрытием (эксперимент); 4 – расчетная температура бетона под двухслойным покрытием; 5 – фактическая температура наружного воздуха во время проведения эксперимента; 6 – расчетная температура наружного воздуха

h_k^{n-o} – конвективный коэффициент теплообмена между прозрачным ограждением и окружающей средой, Вт/(град·м²); h_l^{n-o} – радиационный коэффициент теплообмена между прозрачным ограждением и окружающей средой, Вт/(град·м²); $h_k^{\delta-n}$ – конвективный коэффициент теплообмена между бетоном и прозрачным ограждением, Вт/(град·м²); $h_l^{\delta-n}$ – радиационный коэффициент теплообмена между бетоном и прозрачным ограждением, Вт/(град·м²); $h_k^{n_1-n_2}$ – конвективный коэффициент теплообмена между слоями прозрачного

ограждения, Вт/(град·м²); h_r^{n1-n2} – радиационный коэффициент теплообмена между слоями прозрачного ограждения, Вт/(град·м²);

Отечественные и зарубежные исследователи в области гелиотехники [1—6] установили нецелесообразность применения более двух слоев прозрачного покрытия в конструкции гелиотехнических устройств. Для энергетической оценки изменения конструкции прозрачного покрытия с однослойного на двухслойное проведены теоретические и экспериментальные исследования, результаты которых представлены в табл. 1 и 2, а также на рис. 2. Исследования проведены в температурно-влажностных условиях субтропического (44° с.ш., июль) и умеренно-континентального (56° с.ш., июль) климата. Подробное описание исходных данных и методики проведения теоретических и экспериментальных исследований изложено в работах [7, 8].

Таблица 1

Твердение бетона в опалубочной форме с однослойным и двухслойным прозрачным покрытием в климатических условиях 44° с.ш., июль

Однослойное ограждение, $\delta_{в.л.}=15$ мм					Двухслойное ограждение, $\delta_{в.л.}=15+20$ мм				
Время, ч	$Q_{\text{погл}}$, кДж	$U_{\text{пот}}$, Вт/(°С·м ²)	$Q_{\text{пот}}$, кДж	t_{θ} , °С	Время, ч	$Q_{\text{погл}}$, кДж	$U_{\text{пот}}$, Вт/(°С·м ²)	$Q_{\text{пот}}$, кДж	t_{θ} , °С
10-11	52,6	0,94	-16	12	10-11	41,1	0,38	-13,3	12
11-12	63	0,97	-16	15,7	11-12	54,4	0,39	-13,7	15
12-13	70,6	1	-15	20,7	12-13	65,5	0,4	-13,1	18,9
13-14	75,5	1,02	-12	25,3	13-14	74,4	0,41	-11,1	23,6
14-15	70,8	1,03	-8	31,7	14-15	65,4	0,43	-8	29,9
15-16	63,4	1	-3	38	15-16	54,3	0,44	-4,2	35,8
16-17	51,7	1,38	3	44,9	16-17	40,9	0,43	0,2	42,3
17-18	41,8	6,68	36,3	49,8	17-18	26	2,86	17,1	46,7
18-19	27,1	5,95	37,1	54,2	18-19	9,4	3,03	15,2	51,1
19-20	11	5,78	37,3	56,6	19-20	1,5	3,08	17,5	53,7
20-21	-	5,72	39,2	57,4	20-21	-	3,13	23	55,4
21-22	-	5,69	44,7	58,3	21-22	-	3,17	27,7	56,4
22-23	-	5,68	48,5	58,5	22-23	-	3,2	31,3	57
23-24	-	5,67	51,1	57,6	23-24	-	3,21	34	57,2
24-1	-	5,66	52,5	57	24-1	-	3,23	35,9	57,4
1-2	-	5,65	52,7	56,2	1-2	-	3,23	36,9	57,4
2-3	-	5,66	51,3	55	2-3	-	3,19	35,2	57,1
3-4	-	5,67	48,5	53,6	3-4	-	3,23	35,7	56,4
4-5	-	5,69	44,8	52,1	4-5	-	3,22	33,8	55,5
5-6	-	5,73	40,3	50,6	5-6	-	3,2	31,3	54,6
6-7	-	5,79	35,2	49,5	6-7	-	3,18	28,2	54
7-8	11	5,87	35,1	48,4	7-8	1,5	3,15	24,9	53,2
8-9	27,1	5,98	38,4	47,8	8-9	9,2	3,12	25,2	52,8
9-10	42	6,12	41,8	48,1	9-10	25,1	3,09	30,1	52,6
Зрелость бетона, градусо-часы				1097	Зрелость бетона, градусо-часы				1106
Относительный возраст бетона, сут				5,7	Относительный возраст бетона, сут				5,9
Прогнозируемая прочность бетона, % R ₂₈				72,4	Прогнозируемая прочность бетона, % R ₂₈				73,2
Размеры бетонного образца 20x20x20(h) см; Температура (t_{θ}) в середине бетонного образца; Бетон класса В25, прочность при сжатии в 28-суточном возрасте (эталон) 29,8 МПа. Материал покрытия – пленка полиэтилентерефталатная прозрачная.									

Анализ результатов исследований свидетельствует, что под однослойным прозрачным покрытием нагрев бетона в период солнечного сияния происходит интенсивнее, максимальные значения его температуры на 1,5-2° С превышают

аналогичные значения под двухслойным. После захода солнца бетон под однослойным прозрачным покрытием начинает остывать, в то время как под двухслойным покрытием его температура продолжает расти.

Значения коэффициента тепловых потерь ($U_{\text{пот}}$) двухслойного покрытия снижается почти в 2 раза по сравнению с однослойным. В ночные часы бетон под двухслойным прозрачным покрытием остывает медленнее, максимальное превышение значений его температуры, по сравнению с однослойным покрытием, составляет от 3-5° С (табл. 1) до 8-10° С (табл. 2).

Несмотря на повышение эффективности двухслойного покрытия с понижением среднесуточных температур воздуха, разница в значениях прочности бетона не превышает 4 % R28 (табл. 2).

Таблица 2

Твердение бетона в опалубочной форме с однослойным и двухслойным прозрачным покрытием в климатических условиях 56° с.ш., июль

Однослойное ограждение, $\delta_{в.л.}=10\text{мм}$					Двухслойное ограждение, $\delta_{в.л.}=10+20\text{мм}$				
Время, ч	$Q_{\text{погл}}$, кДж	$U_{\text{пот}}$, Вт/(°С·м ²)	$Q_{\text{пот}}$, кДж	t_b , °С	Время, ч	$Q_{\text{погл}}$, кДж	$U_{\text{пот}}$, Вт/(°С·м ²)	$Q_{\text{пот}}$, кДж	t_b , °С
10-11	36,7	1,13	7,5	21	10-11	28,6	0,42	5,8	21
11-12	44,1	1,15	8,2	23,9	11-12	40,1	0,42	6	22,8
12-13	53,6	15,2	20,5	27,1	12-13	43,4	2,62	27,6	25,3
13-14	60,2	11,2	49,9	30,2	13-14	51,1	3,38	33,2	27,3
14-15	57,9	10,5	51,2	32,3	14-15	42,8	3,61	31,5	29,4
15-16	52,7	10,1	52,9	34,2	15-16	32,9	3,74	29,1	31,4
16-17	44,8	9,93	53,7	36,1	16-17	21,9	3,84	26,6	33,2
17-18	33,7	9,83	52,9	37,4	17-18	7,4	3,94	22,7	35,3
18-19	20,4	9,77	50,7	38,3	18-19	4,8	4,03	21,7	37
19-20	7,2	9,74	48,1	38,8	19-20	3,5	4,11	25,3	38,2
20-21	2,6	9,72	49,6	38,9	20-21	2,1	4,18	28,7	38,9
21-22	0,7	9,7	52,1	38,3	21-22	0,6	4,23	31,6	39,6
22-23	-	9,68	52,9	37,5	22-23	-	4,26	33,7	40,6
23-24	-	9,68	52,5	35,8	23-24	-	4,29	35,2	40,3
24-1	-	9,68	51,5	34,3	24-1	-	4,3	36,2	39,9
1-2	-	9,68	49,6	32,6	1-2	-	4,31	36,6	39,4
2-3	-	9,69	47	31,2	2-3	-	4,3	36,1	39
3-4	-	9,72	43,8	29,7	3-4	-	4,28	35	38,5
4-5	-	9,77	39,9	28,5	4-5	-	4,26	33,7	38,2
5-6	0,7	9,85	35,5	27,3	5-6	0,6	4,24	32	37,9
6-7	2,4	9,99	31	26,4	6-7	2,1	4,21	29,9	37,5
7-8	6,9	10,21	28,2	25,8	7-8	3,6	4,17	27,7	37,3
8-9	19,7	10,57	30,8	25,8	8-9	5	4,13	25,4	37,1
9-10	32,5	11,06	34,7	26,3	9-10	11,9	4,08	27,8	37,1
Зрелость бетона, градусо-часы				757,7	Зрелость бетона, градусо-часы				842
Относительный возраст бетона, сут				2,2	Относительный возраст бетона, сут				2,7
Прогнозируемая прочность бетона, % R ₂₈				49	Прогнозируемая прочность бетона, % R ₂₈				53
Размеры бетонного образца 20x20x20(h) см; Температура (t_b) в середине бетонного образца;									
Бетон класса В25, прочность при сжатии в 28-суточном возрасте (эталон) 29,8 МПа.									
Материал покрытия – пленка полиэтиленовая нестабилизированная неокрашенная									

Увеличение стоимости прозрачного покрытия и трудоемкости его устройства, связанное с креплением дополнительного слоя, а также сходные значения прочности и зрелости бетона под однослойным и двухслойным покрытием, по-

лученные в разных климатических условиях, позволяют сделать вывод о неэффективности применения двухслойного прозрачного покрытия при термообработке железобетонных изделий в опалубочных формах с использованием солнечной энергии.

© Коротеев Д.Д., Харун М., 2017

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Авезов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева и др. ; под ред. Э.В. Сарнацкого, С.А. Чистовича. М. : Стройиздат, 1990. 328 с.
2. Валов М.И., Казанджан Б.И. Системы солнечного теплоснабжения. М. : Изд-во МЭИ, 1991. – 140 с.
3. Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин ; под ред. В.И. Виссарионова. М. : Изд. дом МЭИ, 2008. 276 с.
4. Тайсаева В.Т. Солнечное теплоснабжение в условиях Сибири. Улан-Удэ : Изд-во БГСХА, 2003. 200 с.
5. Dongellini M., Falcioni S., Morini G.L. Dynamic Simulation of Solar Thermal Collectors for Domestic Hot Water Production // Energy Procedia. 2015. Vol. 82. P. 630—636.
6. Zhang W., Lin K., Yuasa R., Kato S. Experimental and Computational Study for Household Equipment System in a Smart House with Solar Collectors // Energy Procedia. 2015. Vol. 78. P. 3428—3433.
7. Коротеев Д.Д. Организационно-технологическое обеспечение производства железобетонных изделий в полигонных условиях с использованием солнечной энергии : дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 175 с.
8. Подгорнов Н.И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии. М. : Изд-во АСВ, 2010. 328 с.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 20 октября 2017

Дата принятия к публикации: 10 декабря 2017

Об авторах:

Коротеев Дмитрий Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент департамента архитектуры и строительства инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Научные интересы:* технология бетонных работ, тепловая обработка бетонных и железобетонных конструкций. *Контактная информация:* e-mail: koroteev_dd@rudn.university

Харун Махмуд, кандидат технических наук, доцент департамента архитектуры и строительства инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Научные интересы:* модифицированные бетоны на композиционных вяжущих. *Контактная информация:* e-mail: kharun_m@rudn.university

Для цитирования:

Коротеев Д.Д., Харун М. Влияние конструкции прозрачного покрытия на эффективность термообработки бетона в опалубочных формах с использованием солнечной энергии // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 1. С. 64—69. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-64-69.

INFLUENCE OF CONSTRUCTION OF TRANSPARENT COVERING ON EFFICIENCY OF CONCRETE HEAT TREATMENT IN SHUTTERING FORMS WITH USING SOLAR ENERGY

D.D. KOROTEEV, M. KHARUN

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation

The shuttering forms, equipped by inventory frames with transparent cover, are the simple solar energy equipment for heat treatment of reinforced concrete elements during their manufacturing at the plants. They are similar with solar collectors by their design and thermal-physical processes, taking place in them, with difference that the heat sink is hardening concrete.

The research results of influence of transparent cover construction on efficiency of concrete heat treatment in shuttering forms with employment of solar energy in different climatic conditions are given in the article.

The volume of energy, consumed and lost by concrete during its direct heating by solar energy in the simple solar energy equipment like solar collector, depends on the transparent cover construction. Under other same conditions, the increase of cover layers affects its transparency, which is characterized by the solar energy transmittance, but in this case, it reduces heat losses in environment, which are characterized by the coefficient of heat losses through transparent cover.

One-layer and two-layer transparent covers are chosen for assessment of efficiency of heat treatment of concrete elements, because the increase of cover layers more than two reduces intensity of the heat sink warming in the daytime and it is accepted by scientists in solar energy field as pointless.

Optimal number of transparent material layers in cover construction is determined based on energy assessment in result of thermal-physical calculation and experimental research. The economic losses for production of transparent cover due to the increase of its layers are taken into account in addition with energy assessment.

Keywords: heat treatment of concrete, solar energy, shuttering form, transparent covering, energy efficiency

References

1. Avezov, A.A., Barsky-Zorin, M.A., Vasilyeva, I.M. (1990). *Sistemy solnechnogo teplo- i hladosnabjeniya [Systems of Solar Heat and Cool Supply]*. Moscow: Stroyizdat publ. 328. (In Russ.).
2. Valov, M.I., Kazandjan, B.I. (1991). *Sistemy solnechnogo teplosnabjeniya [Systems of Solar Heat Supply]*. Moscow: Moscow Energy University publ. 140. (In Russ.).
3. Vissarionov, V.I., Deryugina, G.V., Kuznetsov, V.A., Malinin, N.R. (2008). *Solnechnaya Energetika [Solar Energy]*. Moscow: Moscow Energy University publ. 276. (In Russ.).
4. Taysaeva, V.T. (2003). *Solnechnoe teplosnabjienie v usloviyah Sibiri [Solar Heat Supply in Siberia Conditions]*. Ulan-Ude: BGSHPA publisher. 200. (In Russ.).
5. Dongellini, M., Falcioni, S., Morini, G.L. (2015). Dynamic Simulation of Solar Thermal Collectors for Domestic Hot Water Production. *Energy Procedia*, (82), 630–636.
6. Zhang, W., Lin, K., Yuasa, R., Kato, S. (2015). Experimental and Computational Study for Household Equipment System in a Smart House with Solar Collectors. *Energy Procedia*, (78), 3428–3433.
7. Koroteev, D.D. (2011). *Organisatsionno-tehnologicheskoe obespechenie proizvodstvo jelezobetonnih izdeliy v poligonnyh usloviyah s ispolzovaniem solnechnoy energii [Organizational and Technological Supply of Themufacturing of Concrete Elements in Thepolygon Conditions with Employment of Solar Energy]* (PhD Dissertation). Moscow, Russia, 175. (In Russ.).
8. Podgornov, N.I. (2010). *Termoobrabotka betona s ispolzovaniem solnechnoy energii [Thermal Processing of Concrete with Using of Solar Energy]*. Moscow: ASV publ. 328. (In Russ.).

Article history: Received: October 20, 2017

Revised: December 1, 2017

Accepted: December 10, 2017

About the authors:

Dmitry D. Koroteev, Candidate of Technical Science, Associate Professor of department of architecture and civil engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Scientific interests:* technology of concrete works, heat treatment of concrete and reinforced concrete elements. *Contact information:* e-mail: koroteev_dd@rudn.university

Makhmud Kharun, Candidate of Technical Science, Associate Professor, of department of architecture and civil engineering, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Scientific interests:* modified concretes on composite binders.

Contact information: e-mail: kharun_m@rudn.university

For citation:

Koroteev, D.D., Kharun, M. (2018). Influence of construction of transparent covering on efficiency of concrete heat treatment in shuttering forms with using solar energy. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(1), 64–69. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-1-64-69.