

**Е.Б. Утепов¹, А.С. Түлебекова², Д.А. Ахметов³,
Е.Н. Роот⁴, Ш.Ж. Жарасов⁵**

^{1,2}ТОО «CSI Research&Lab», НАО ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан,

^{3,4}ТОО «НИИСТРОМПРОЕКТ», г. Алматы, Казахстан,

⁵ТОО «CSI Research&Lab», г. Нур-Султан, Казахстан

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА НАБОР ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ИЗОТЕРМ

Аннотация. *Статья посвящена выработке альтернативного подхода к определению степени влияния температуры твердения на набор прочности бетона, на основе построения изотерм. По результатам испытаний были построены изотермы, представляющие собой графики набора прочности на каждый из температурных режимов. Визуальное и цифровое сравнение полученных значений прочности бетона по изотермам дало понимание о степени влияния нагрева образцов на их набор прочности.*

Ключевые слова: *прочность бетона, экзотермическая реакция, разрушающий контроль, термическая выдержка, изотерма.*

Введение

Набор прочности бетона – достаточно длительный процесс, на который влияют различные внешние и внутренние факторы [1]. К внешним факторам при естественном твердении бетона можно отнести температуру окружающей среды, относительную влажность воздуха, ветер, осадки, тень, создаваемую расположенными в близости объектами, и др. [2]. К внутренним факторам можно отнести температуру твердения, влажность, рН-уровень, степень влияния которых можно запрограммировать при изготовлении бетонной смеси [3]. Следует полагать, что сочетание тех или иных факторов может повлиять или пагубно, или, наоборот, ускорить набор прочности бетона. Марочное значение бетона достигается за 28 суток, и чтобы обеспечить долговечность будущей конструкции, необходимо четко знать процесс и время, которое необходимо для его завершения [2]. Процесс можно условно поделить на 2 стадии: схватывание бетона и набор прочности [4].

Бетон схватывается в течение первых суток с момента его укладки. Количество времени, требуемое для начала и завершения первой стадии, напрямую зависит от температуры окружающей среды. В теплый период года, когда температура в среднем 20°C и выше, процесс схватывания бетонной смеси заметно ускоренный. В зимнее время начало и завершение первой стадии сдвигаются. Для начала момента схватывания требуется больше времени. Если температура близка к нулю, процесс начинается, приблизительно через 6-10 часов после изготовления бетонной смеси и может занять до 20 часов после ее заливки. В жаркую погоду время уменьшается и может быть достаточно и 10 минут для схватывания [5].

После того как бетон схватился, начинается процесс набора прочности. Время завершения процесса твердения или набора прочности неизвестно, но на это может потребоваться несколько лет, а то и столетия. Марка бетона же определяется вне зависимости от окончания набора прочности через 28 суток выдерживания. Стоит принять во внимание, что набор прочности бетона идет неравномерно. Наибольшую интенсивность можно наблюдать в первые сутки заливки бетона, а после трех суток данный показатель в нормальных условиях может составлять около 30%, на 7-14 сутки до 70%, а через три недели 90% от марочного значения, определяемого через 28 суток после заливки [6].

Одним из эффективных методов определения степени влияния температуры твердения на набор прочности бетона является графическое построение так называемых «изотерм», или температурных графиков. Изотермы дают возможность определить достигаемое значение прочности бетона в каждое время и температуру выдерживания, благодаря тому, что их можно построить на разные значения температуры [7]. Иными словами, данный метод дает понимание о том, что при определенных низких температурах выдерживания, марочное значение прочности не будет достигнуто даже спустя 28 суток. В подобных случаях, обычно прибегают к нагреву конструкции [6]. Если не предпринять своевременные меры, то конструкция может замерзнуть и процесс набора прочности остановится, что чревато увеличением сроков строительства за счет дополнительных затрат из-за демонтажа и повторной заливки конструкций [8].

На практике принято использовать таблицу 1 для определения нормативно-безопасного срока начала работ [9]. Пользуясь данной таблицей, можно принимать определенные решения по распалубке конструкции. Согласно таблице, нормативно-безопасным сроком распалубки можно принять отметку близкую к 50%, но безопасным сроком начала работ считается отметка в пределах 72-80% от марочного значения.

Таблица 1 – Зависимость марки бетона и его среднесуточная температура

Марка бетона	Среднесуточная температура бетона в °С	Срок твердения в сутках						
		1	2	3	5	7	14	28
		Прочность бетона на сжатие (процент от марочной)						
М200-300, замешанный на портландцементе М400-500	-3	3	6	8	12	15	20	25
	0	5	12	18	28	35	50	65
	+5	9	19	27	38	48	62	77
	+10	12	25	37	50	58	72	85
	+20	23	40	50	65	75	90	100
	+30	35	55	65	80	90	100	-

Своевременный нагрев (особенно в зимний период) бетонной или железобетонной конструкции снижает риск недобора марочной прочности бетона [10]. Ранние работы [6], [11], [12] упоминают нормативно-безопасные сроки начала работ лишь для бетонов, считающихся на сегодняшний момент относительно низкомарочными (М200-300), которые уже не используются для несущих желе-

зобетонных конструкций в каркасном домостроении. В связи с этим данная работа посвящена выработке альтернативного подхода к определению степени влияния температуры твердения на набор прочности бетона, на основе построения изотерм. Данный подход может быть использован для принятия эффективных решения по своевременному нагреву конструкций в зимний период.

Методы исследования и материалы

Разрабатываемый подход включает три основные операции: изготовление стандартных образцов бетона согласно, изотермическая выдержка образцов до момента испытаний, и испытание разрушающим методом согласно [13] на 1, 3, 7, 14 и 28 сутки твердения бетона.

Изготовление образцов. Форма и номинальные размеры образцов в зависимости от метода определения прочности бетона должны соответствовать [13]. В данной работе одновременно было изготовлено 105 образцов бетона кубической формы, с длиной ребра 10 см. Формовка образцов производилась на территории завода изготовителя товарного бетона ТОО «Темирбетон-1» в городе Алматы. Образцы изготавливались из стандартного состава отпускаемого с завода товарного бетона класса В25 марки М350 (табл. 2):

Таблица 2 – Состав товарного бетона класса В25 марки М350

№	Наименование компонента	Расход компонента, кг/м ³
1	Портландцемент	390
2	Песок	810
3	Щебень, смесь фракций 5-20 мм	1080
4	Вода	140
5	Химическая добавка на основе поликарбоксилатных эфиров НРС-3	2,73

Отбор проб произведен согласно [14] с одного замеса. После завершения отбора и формовки, образцы хранились на территории завода в течение суток, после чего были перемещены для хранения в комплексной научно-исследовательской лаборатории строительных материалов ТОО «НИИСТРОМПРОЕКТ» в городе Алматы. Дальнейшее хранение вышеуказанных образцов производилось согласно [13] в нормальных условиях при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $95 \pm 5\%$.

Изотермическая выдержка образцов. Изотермическая выдержка в данной работе представляла собой нагрев требуемого количества образцов в специальной климатической камере [15] в течение 1 часа при температурных режимах 10, 20, 30, 40, 50, 60 и 70°C .

За счет высокоточных измерительных приборов в своем составе для контроля влажности и температуры воздуха, климатическая камера позволила точно смоделировать условия нагрева и выдержки образцов в течение 1 часа без потери влаги. Рабочий объем камеры выполнен в виде шкафа с размещенными внутри теплообменниками для обеспечения режимов испытаний. Он снабжен распашной дверью со смотровым окном и системой защиты от обмерзания.

Испытание разрушающим методом. Определение прочности бетона на сжатие проведено на гидравлическом прессе, согласно *ГОСТ 10180-2012* [13].

Испытания 105 образцов производились поэтапно на 1, 3, 7, 14 и 28 суток твердения бетона. На каждые сутки испытаний разрушались по 21 кубов, предварительно нагретых в климатической камере по три образца на 10-70°C.

Результаты и дискуссии

Ниже представлены результаты проведенных испытаний (табл. 3 и рис. 1).

Таблица 3 – Результаты проведенных испытаний

Время твердения, сут	Набор прочности бетона при разных температурных режимах, МПа						
	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
1	12,5	12,2	12,5	12,85	12,8	13,25	13,35*
3	17,6	20,45	22,15	22,25	22,9	23,5*	23,2
7	23,1	24,25	24,3	24,85*	24,1	24	24,25
14	31,55*	26,75	25,1	24,4	26	26,85	28,1
28	34,6*	34,2	34	33,95	33,8	33,05	33

*Максимальные значения набора прочности

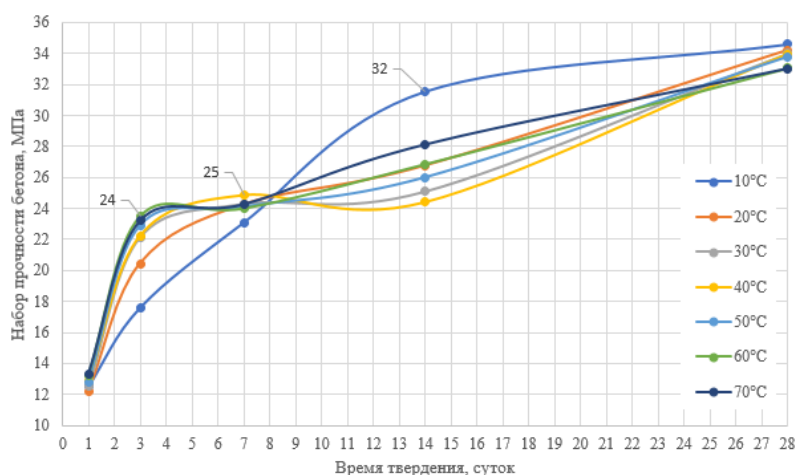


Рис. 1 – Кривые изотерм выдерживания бетона

Согласно полученным изотермам, максимальный набор прочности на 1, 3, 7, 14 и 28 суток показали образцы, выдержанные при 70, 60, 40, 10 и 10°C, со значениями: 13,35; 23,5; 24,85; 31,55 и 34,6 Н/мм² соответственно.

Выводы

Альтернативный трехступенчатый подход к определению степени влияния температуры твердения на набор прочности бетона на основе построения изотерм с использованием наиболее распространенного бетона класса В25 и марки М350 позволил установить следующее:

- особое влияние на прочностные характеристики температура выдерживания образцов имеет на ранних сроках твердения – с 1 по 7 суток. Прослеживается динамика повышения прочности от повышения температуры;

- в период твердения от 14 до 28 суток наблюдается повышение прочности бетона при выдерживании образцов при температуре 10°C. Также в период твердения с 14 до 28 суток снижаются скачки прочностных характеристик образцов, испытанных после выдерживания при температурах от 20 до 70°C.

Выработанный подход рекомендуется к использованию при устройстве бетонных и железобетонных конструкций в агрессивных климатических условиях, особенно в зимний период.

Информация о финансировании

Данное исследование финансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант №АР08052033).

Литература:

1. Краснощеков Ю.В., Галузина Р.А. Прочность бетона как сопротивление разрушению // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2016. – 47(1). – С. 61-65.
2. Jednacz P., Hudyk J. Твердение высокопрочного бетона в натуральных зимних условиях // Записки Горного института. – 2006. – 167(2). – С. 265-267.
3. Масаев Ю.А., Политов А.П., Масаев В.Ю. Бетон в строительстве – с древнейших времен до наших дней *concrete in construction – from ancient times to our days* // Вестник Кузбасского ГТУ. – 2017. – 121(3). – С. 20.
4. Семенюк С.Д., Фролков И.С., Мамочкина М.Г., Дивакова Г.А. Прочность и деформативность бетона средних классов по результатам испытаний // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – 40(3). – С. 92-100.
5. Ishee C., Surana S. Hot weather concreting. *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete* // Elsevier. – 2019. – С. 131-150.
6. Nmai, C.K. Cold weather concreting admixtures. *Cement and Concrete Composites*. 1998. 20 (2–3). С. 121–128. DOI:10.1016/S0958-9465(97)00063-2. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946597000632>.
7. Kiselev, I. Адсорбционные характеристики материалов ограждающих конструкций. *Scientific journal «ACADEMIA. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION»*. – 2020. – (2). С. 143–147. DOI:10.22337/2077-9038-2020-2-143-147. URL: <http://aac.raasn.ru/article/view/222>.
8. Gubskaya A., Garotchenko A., Volovik T. Учет влияния качества сырьевых компонентов бетона и условий его эксплуатации на долговечность бетонных изделий с позиций технического нормирования // *Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona*. 2019. (11). С. 108–124. DOI:10.35579/2076-6033-2019-11-08.
9. Kuznik F., David D., Johannes K., Roux, J.-J. A review on phase change materials integrated in building walls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. 15(1). С. 379-391. DOI:10.1016/j.rser.2010.08.019. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032110002716>.
10. Zhang H. *Building materials in civil engineering* // Woodhead Publishing Limited, 2011.
11. CCAA. *CONCRETE BASICS A Guide to Concrete Practice* // Cement Concrete & Aggregates Australia, 2004.
12. Dvorkin L., Nwaubani S., Dvorkin O. *Construction Materials. Beyond Failure*. American Society of Civil Engineers. Reston, VA, 2008. – С. 301-332.
13. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2012.

14. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. Межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2014.
15. Кулик А.С., Нарожный В.В., Таран А.Н. Диагностирование технического состояния датчика влажности в климатической камере // Автомобильный транспорт. – 2008. – (22). – Рр. 137-141.

Е.Б. Өтепов¹, А.С.Төлебекова², Д.А. Ахметов³, Е.Н. Роот⁴, Ш.Ж. Жарасов⁵

^{1,2}«CSI Research&Lab» ЖШС, КЕАҚ Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ,
Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан,
^{3,4} "НИИСТРОМПРОЕКТ" ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы,
⁵ТОО "CSI Research & Lab", Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан Республикасы

ҚЫЗДЫРУ ТЕМПЕРАТУРАСЫНЫҢ ИЗОТЕРМА НЕГІЗІНДЕГІ БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІНЕ ӘСЕР ЕТУ ДӘРЕЖЕСІН АНЫҚТАУ ӘДІСІ

Андатпа. Мақала изотермаларды құру негізінде бетонның беріктік жиынтығына қатаю температурасының әсер ету дәрежесін анықтауға балама көзқарасты дамытуға арналған. Сынақ нәтижелері бойынша изотермалар салынды, олар температуралық режимдердің әрқайсысына беріктік алу графигін көрсетеді. Изотермалар арқылы алынған үлгілерді қыздыруының беріктікке әсер ету байланысы визуалды және цифрлы салыстыру түрінде түсінік берілді.

Түйін сөздер: бетонның беріктігі, экзотермиялық реакция, деструктивті бақылау, термиялық төзімдеу, изотерма.

E.B. Utepov¹, A.S. Tulebekova², D.A. Akhmetov³, E.N. Root⁴, Sh.Zh. Zharassov⁵

^{1,2} "CSI Research&Lab" LLP, NAO ENU named after L.N. Gumilyov,
Nur-Sultan, Kazakhstan,
^{3,4} "NIISTROMPROEKT" LLP, Almaty, Kazakhstan,
⁵TOO "CSI Research & Lab", Nur-Sultan, Kazakhstan

METHOD FOR DETERMINING THE DEGREE OF INFLUENCE OF THE HEATING TEMPERATURE ON THE STRENGTH SET OF CONCRETE BASED ON ISOTHERMS

Annotation. The article presents the development of an alternative approach to determining the degree of influence of the curing temperature on the concrete strength gain, based on the construction of isotherms. Based on the test results, isotherms were plotted, representing the graphs of strength gain for each of the temperature regimes. Visual and numerical comparison of the concrete strength values obtained from isotherms gave an understanding of the degree of influence of sample heating on strength development.

Keywords: concrete strength, exothermic reaction, destructive control, thermal aging, isotherm.