О влиянии условий выдерживания при возведении массивных монолитных железобетонных конструкций на прочность бетона

Г.В. Несветаев[1], Ю.И. Корянова[1], Д.П. Сухин[2]

[1]Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону
[2]ООО «Дон-Кубань Строй», Ростов-на-Дону

Аннотация: Обеспечение регулирования температурного режима выдерживания бетона для предотвращения трещинообразования вследствие температурных градиентов и усадочных деформаций является одним из ключевых моментов при возведении массивных монолитных железобетонных конструкций. В качестве основных методов регулирования температурного режима выдерживания при бетонировании массивных монолитных конструкций рассматривается сочетание рецептурных и технологических методов. Проведен анализ температурных полей и оценка возможного трещинообразования бетона при бетонировании ростверков мостовых опор, выдерживание бетона при возведении конструкций которых осуществлялось разными методами. Предложено в нормативных документах четко оговорить случаи обязательных испытаний на морозостойкость бетона по образцам, отобранным из конструкций. При разработке проектной документации при нормировании показателей качества бетона предложено, значения класса бетона по прочности на сжатие, в первую очередь назначать по условию обеспечения долговечности конструкции в зависимости от класса среды эксплуатации.

Ключевые слова: массивные монолитные железобетонные конструкции, температурный режим выдерживания бетона, трещинообразование, морозостойкость, класс бетона по прочности на сжатие.

Одним из ключевых моментов при возведении массивных монолитных железобетонных конструкций является обеспечение регулирования температурного режима выдерживания бетона для предотвращения трещинообразования вследствие температурных градиентов и усадочных деформаций, обусловленных в ранний период контракционной усадкой бетона [1], а в более поздние сроки - возможным развитием усадочных деформаций вследствие обезвоживания бетона (усадка при высыхании) [2,3]. При этом наиболее опасным периодом обычно является время от 2 до 4 суток выдерживания, когда с началом остывания совпадают температурные и усадочные деформации [4]. Согласно СП 70.13330.2012, п. 5.4.2, «в бетоне в процессе твердения следует поддерживать расчетный температурно-влажностный режим», при этом согласно СП 435.1325800.2018, п. 10.11,

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

«скорость остывания бетона в массивных конструкциях не должна превышать значения, определяемого расчетом и обеспечивающего отсутствие трещин в поверхностных слоях бетона», а согласно п. 10.23.4, «число точек, в которых измеряется температура бетона, должно составлять не менее одной … на 30 м^2 площади фундаментной плиты». Согласно СП 70.13330.2012, п. 5.4.2 предписываются «в массивных монолитных конструкциях … мероприятия по уменьшению влияния температурно-влажностных полей напряжений», при этом сами мероприятия не оговариваются. Согласно СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011, п. 16.3, «технологические мероприятия по регулированию температурного режима твердения должны предусматривать подогрев периферийной части в период разогрева бетонного массива за счет экзотермии цемента (ориентировочно от 1,5 до 3,0 сут.) для выравнивания температурного градиента и поддержание скорости остывания бетона в конструкции не более 5 °С/ч после достижения его максимальной температуры». В качестве основных методов регулирования температурного режима выдерживания при бетонировании массивных монолитных конструкций можно рассматривать сочетание рецептурных (применение цементов с низкой экзотермией, ограничение расхода цемента в составе бетонной смеси, применение добавок-замедлителей твердения [5]) и технологических (отвод тепла из массива, периферийный обогрев для снижения температурных градиентов) [6,7]. Ниже приведен анализ температурных полей и оценка возможного трещинообразования бетона согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016, при бетонировании ростверков мостовых опор на одном из объектов в Ростовской области, при этом выдерживание бетона при возведении конструкций осуществлялось разными методами.

Ростверк 1 (далее Р1) с размерами 33,7х5,5х2(h) м, объем 370,7 м^3, модуль поверхности - 1,4, коэффициент армирования - 3,18 %, площадь-

185,4 м^2, расчетное число точек замера температуры - 7, фактическое – 12. Замер температуры предусмотрен на глубине 1,2 м от верхней поверхности, замер температуры на поверхности не предусмотрен. Ростверк 2 (далее Р2) с размерами - 28,7х4х2 м, объем - 229,6 м^3, модуль поверхности - 1,6, коэффициент армирования - 3,18%, площадь - 114,8 м^2, расчетное число точек замера температуры - 4, фактическое – 6. Замер температуры предусмотрен на глубине 1,0 м от поверхности, замер температуры на поверхности не предусмотрен, но осуществлялся по требованию контролирующей организации.

Бетонирование Р1 производилось в период 30 – 31 марта 2021 г. в условиях прогноза возможных ночных заморозков при температуре окружающей среды от +2 до +11 ^{o}С и скорости ветра до 7 м/с. Температура бетонной смеси при укладке составляла порядка 8 ^{o}С. Укладка бетонной смеси продолжалась 22 ч. Выдерживание Р1 осуществлялось в тепляке, но без подвода тепла. Бетонирование Р2 осуществлялось в период 11 – 12 апреля с укрытием поверхности водонепроницаемой пленкой при температуре окружающей среды от +8 до +13 ^{o}С и скорости ветра до 4 м/с. Укладка бетонной смеси продолжалась 20 ч. Температура бетонной смеси при укладке составляла порядка 15 ^{o}С. Выдерживание Р2 осуществлялось под водонепроницаемой пленкой.

Проектный класс бетона по прочности на сжатие - В25. Марка бетона по морозостойкости - $F_1$200, по водонепроницаемости - W6.

Результаты замеров температуры в Р1, Р2 и анализ температурных полей сопоставлялись с данными, полученными ранее авторами при бетонировании фундаментной плиты с размерами 32,0х16,0х1,0 м (далее П), объем - 512 м^3, модуль поверхности - 2,2 при температуре среды от 11 до 20 ^{o}С и температуре бетонной смеси в момент укладки порядка - 18 ^{o}С. При

выдерживании бетона осуществлялось регулирование температурного режима посредством периферийного обогрева.

В табл.1 представлены некоторые сведения о требованиях нормативных документов к бетону Р1 и Р2.

Таблица №1

Нормирование свойств бетона

Показатели	Нормативные документы			
	СП		ГОСТ	
	35.13330.2011	46.13330.2012	26633-2016	31384-2017
Класс бетона по прочности на сжатие	Не ниже В25			Не ниже В30 (XC2); В25(XF3)
Марка по морозостойкости	F200			
Марка по водонепроницаемости	W6			
В/Ц				Не более 0,6; 0,5
ВВ, %			Не менее 4	
Цемент			ПЦ Д0 Н по ГОСТ 10178	
Расход цемента, кг/м^3			Не более 450	Не менее 280
ПГ, песок, %			Не более 2	
ПГ, щебень, %			Не более 1	
Морозостойкость щебня			Не менее 100	
Температура бетонной смеси/температура основания		Не более 10/5; (10-20)/10; (10-25)/(15-20)		

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

Учитывая массивность Р1 и Р2 (модуль поверхности менее 3), на первом этапе подбора состава бетона проведено моделирование температурного режима твердения составов с различными добавками на кубах 200х200х200 мм (далее К1 и К2) с модулем поверхности 3 (рис.1).

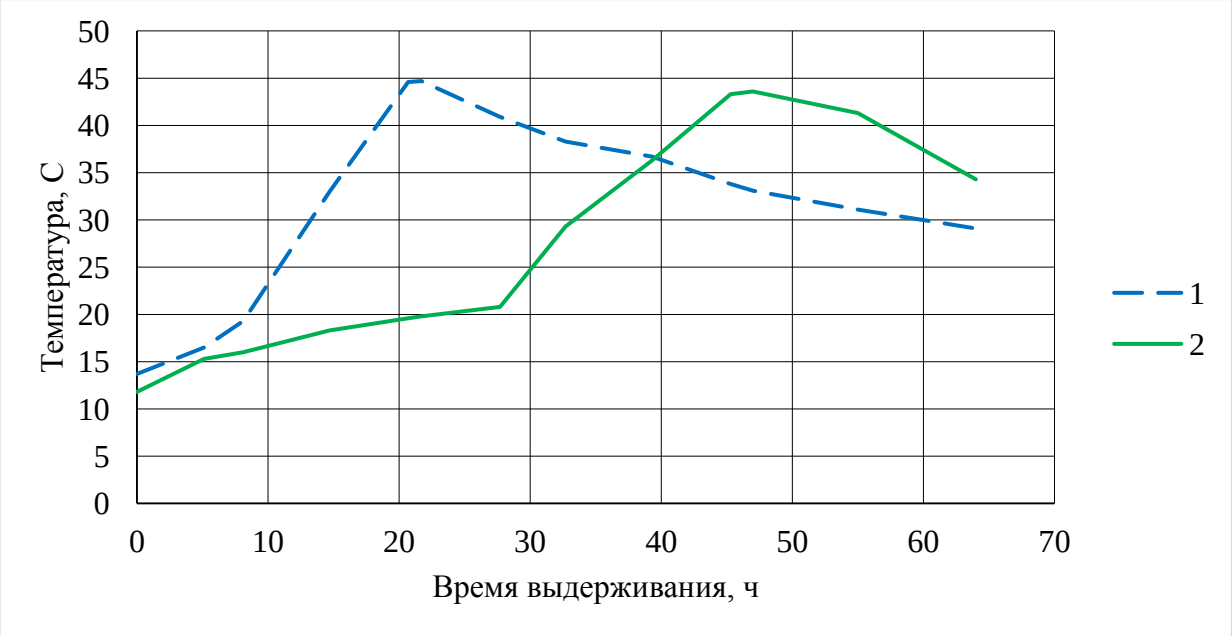

Рис. 1. - Изменение температуры в центре К1 и К2 во времени при выдерживании в нормальных условиях (далее НУ):
1 - суперпластифицирующая добавка на основе эфиров поликарбоксилатов; 2 – комплекс «Линамикс П90М» 1,7% + «Аэро 815» 0,013%.

По представленным на рис.1 данным, произведена оценка прогнозируемой прочности бетона в К1 и К2 по показателю «зрелость бетона» и допустимого перепада температуры «центр-поверхность» как критерия температурно-усадочной трещиностойкости согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016. Для удобства моделирования авторами статьи предложена формула для определения расчетной относительной прочности бетона R_τ/R_{28} в зависимости от показателя «зрелость бетона» $T{\cdot}\tau$, ^{o}С·ч и средней

температуры бетона T, °С к моменту фиксируемого времени выдерживания τ, ч:

$$\frac{R_\tau}{R_{28}} = \exp\left(0{,}35\cdot\left(1 - \left(\frac{15800-122{,}5\cdot T}{T\cdot\tau}\right)^{0{,}55}\right)\right), \quad (1)$$

$$\text{Т} = \frac{\text{ЗБ}}{\tau}, \quad (2)$$

где ЗБ – показатель зрелости бетона согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016, °С·ч за время выдерживания τ.

По результатам анализа в образце К1 к моменту начала остывания прогнозируемая прочность бетона составила 23 - 30% R_{28}, при этом согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016 допустимый перепад температуры «центр-поверхность» при коэффициенте армирования конструкции 3% составляет 9,5 – 12 °С. В образце К2 к моменту начала остывания прогнозируемая прочность бетона составила 40 - 49%, при этом согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016 допустимый перепад температуры при коэффициенте армирования конструкции 3% составляет 14 – 16 °С. На основании указанных результатов принято решение о применении для бетонирования Р1 и Р2 состава бетона с комплексом добавок «Линамикс П90М» + «Аэро 815».

Состав бетонной смеси по карте подбора поставщика Ц: П: Щ = 1:1,842: 2,895 при В/Ц = 0,42. Подвижность бетонной смеси (марка П3) через 15 мин – 15 см, 60 мин – 14 см, 90 мин – 12,5 см. Средняя плотность бетонной смеси 2346 кг/м^3. Объем вовлеченного воздуха (далее ВВ) по карте подбора 4,1% по ГОСТ 10181-2014, п. 6.4. Объем ВВ по ГОСТ 26633-2016, п. 6.5 – 5%. На объекте объем ВВ по ГОСТ 10181-2014, п. 6.4 до 5,4%. Бетонная смесь изготавливалась с применением портландцемента ПЦ500 Д0 Н завода «Пролетарий», НГ 25,5%, истинная плотность 3,17 г/см^3, активность при пропаривании 40,6 МПа, данные об активности в 28 сут. в паспорте не указаны. Вероятная активность цемента по данным прочности бетона [8] составляет от 49,5 до 59,8 МПа. Крупный заполнитель – щебень гранитный

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

Павловского карьера, М1400, средняя плотность 1350 кг/м^3, плотность в куске 2,720 г/см^3, содержание ПГ 0,9 – 1%. Мелкий заполнитель – песок «Альянс», $M_к$ = 1,92, содержание ПГ 1,2%, истинная плотность 2,64 г/см^3. Добавки – «Линамикс П90М» 1,7% и «Аэро 815» 0,013% рабочего раствора от массы цемента.

Бетон по карте подбора поставщика с запасом соответствует классу по прочности на сжатие В25. Трехсуточная прочность при нормальных условиях твердения 21,7 МПа. Прочность после ТВО по стандартному режиму 34,3 МПа, марка по морозостойкости $F_1$200. Предел прочности на сжатие по данным испытаний образцов-кубов, твердевших вместе с Р1, в возрасте 15 сут, составил 56,4 МПа. Показатель «зрелость бетона» $T{\cdot}\tau$ к этому времени достиг значения 9335 ^{o}С·ч, а средняя температура T за указанный период выдерживания составила 26 ^{o}С. Предел прочности на сжатие по данным испытаний образцов-кубов, твердевших вместе с Р1, в возрасте 28 сут. составил 58,4 МПа, что соответствует классу В45. Предел прочности на сжатие по данным испытаний лабораторных образцов-кубов в возрасте 28 сут. составил 67,0 МПа, что существенно превышает требования к проектному классу В25 и соответствует классу В50-В55, что обусловлено значением В/Ц бетона [8] по условиям обеспечения проектных требований по морозостойкости [9] и применением цемента высокой активности. Согласно СТО НОСТРОЙ 2.6.54-2011, ожидаемая марка по морозостойкости бетонов классов В45 – В50 составляет $F_1$300 – $F_1$400, марка по водонепроницаемости W10 – W12. Испытания образцов бетона, твердевших вместе с Р1, подтвердили $F_1$300 и W12.

Предел прочности бетона в конструкции Р1, определенный методом отрыва со скалыванием, в возрасте 24 сут. составил 40,4 МПа. Показатель «зрелость бетона» $T{\cdot}\tau$ к этому времени достиг значения 14080 ^{o}С·ч, а средняя температура T за указанный период выдерживания составила 24,4 ^{o}С. В

возрасте 28 сут. предел прочности бетона в конструкции Р1, определенный методом отрыва со скалыванием, составил 42,9 МПа. Предел прочности бетона в конструкции - Р2, определенный методом отрыва со скалыванием в возрасте 14 сут. составил 35,8 МПа. Показатель «зрелость бетона» $T{\cdot}\tau$ к этому времени достиг значения 9970 ^{o}С·ч, а средняя температура T за указанный период выдерживания составила 29,7 ^{o}С. В возрасте 28 сут. предел прочности бетона в конструкции Р2, определенный методом ультразвукового поверхностного прозвучивания, составил от 34 до 36,4 МПа. Данные о кинетике прочности бетона представлены на рис.2.

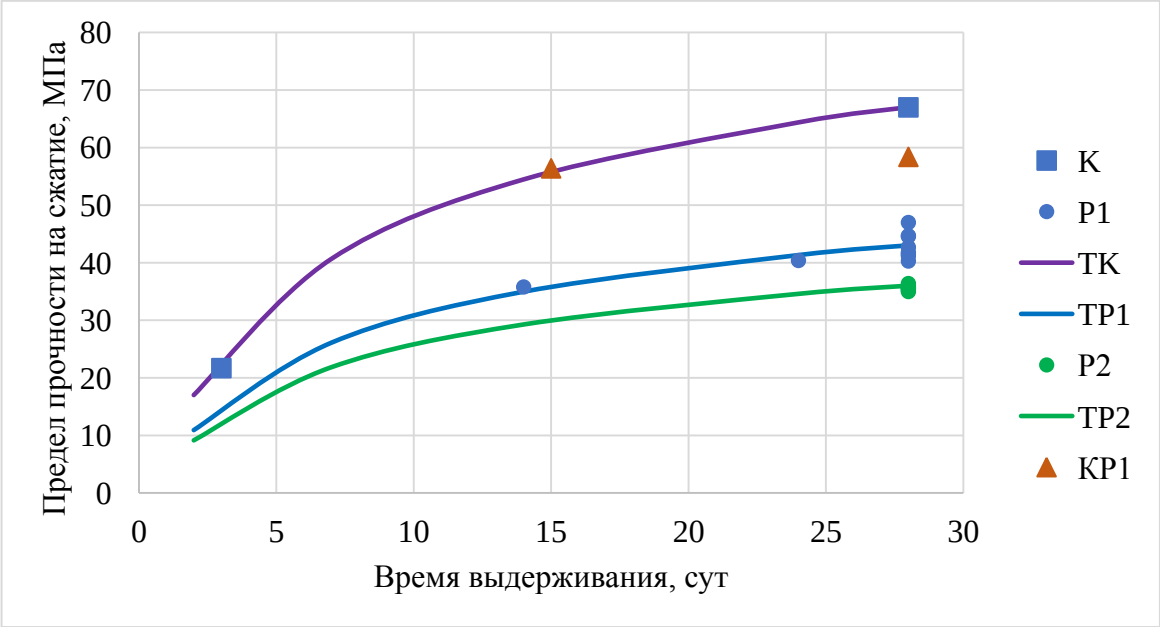

Рис. 2. - Кинетика прочности бетона

К – по лабораторным образцам-кубам; КР1 – по образцам-кубам, твердевшим вместе с Р1; Р – в Р1 и Р2; Т – по формуле $\frac{R_\tau}{R_{28}} = \exp\left(k{\cdot}\left(1 - \sqrt{\frac{28}{\tau}}\right)\right)$ при k = 0,5 (медленно твердеющий бетон) [8,10]

Существенное различие значений предела прочности на сжатие бетона в Р1 и Р2 и образцах-кубах может быть обусловлено:

- отличием структуры бетона в Р1 и Р2 от структуры бетона лабораторных образцов-кубов, связанной с процессами укладки, уплотнения

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

бетонной смеси и выдерживания твердеющего бетона. Поскольку предел прочности бетона в образцах-кубах (КР1), твердевших вместе с Р1, составил 58,4 МПа, или 87% от лабораторного состава по карте подбора, а предел прочности бетона Р1 составил 42,9 МПа, или 73,5% от КР1, можно сделать заключение о более существенном в данном случае влиянии процессов укладки и уплотнения на формирование прочности бетона Р1, что подтверждается значительным количеством обнаруженных при визуальном осмотре Р1 дефектов уплотнения. Некоторое различие может быть также обусловлено повышенным содержанием ВВ в бетонной смеси на объекте (до 5,4% против 4,1 по карте подбора), что может привести к снижению предела прочности бетона примерно на 5%;

- различием, часто превышающим 20%, прочности бетона в поверхностных слоях и в центре конструкций, особенно массивных [3,11]. Количественные данные о реальном соотношении прочностей в массиве и поверхностном слое могут быть получены посредством испытаний образцов, отобранных из конструкции (кернов), но, поскольку фактический класс бетона в Р1 и Р2 превысил проектный, естественно, такие испытания не проводились.

В связи с различием предела прочности бетона КР1 и лабораторных образцов-кубов на 13% можно утверждать, что различные условия выдерживания привели к формированию различных структур, что, безусловно повлияет и на морозостойкость, и на водонепроницаемость бетона, особенно в Р1 и Р2. Но, согласно СП 70.13330.2012, п. 5.5.4 «при приемочном контроле устанавливают соответствие фактических показателей качества бетона конструкций *всем нормируемым проектным показателям качества бетона*». Но при этом, поскольку «*контроль морозостойкости бетона конструкций проводят по результатам определения морозостойкости бетона, которые должен представить поставщик*

бетонной смеси» (СП 70.13330.2012, п. 5.5.4), при соответствии фактического класса бетона Р1 и Р2 проектному и соответствия бетона не только по карте подбора, но и по образцам, твердевшим вместе с Р1, проектным требованиям по морозостойкости, вряд ли будет производиться проверка фактических значений этих показателей бетона в Р1 и Р2. Тем более, что контроль прочности бетона монолитных конструкций у поставщика и на объекте часто имеет некоторые особенности, влияние которых на результат сложно учесть в условиях массового производства [12, 13].

На рис.3 представлены данные об изменении температуры в центре и на верхней поверхности Р1, Р2 и П, в первые 3 сут. выдерживания.

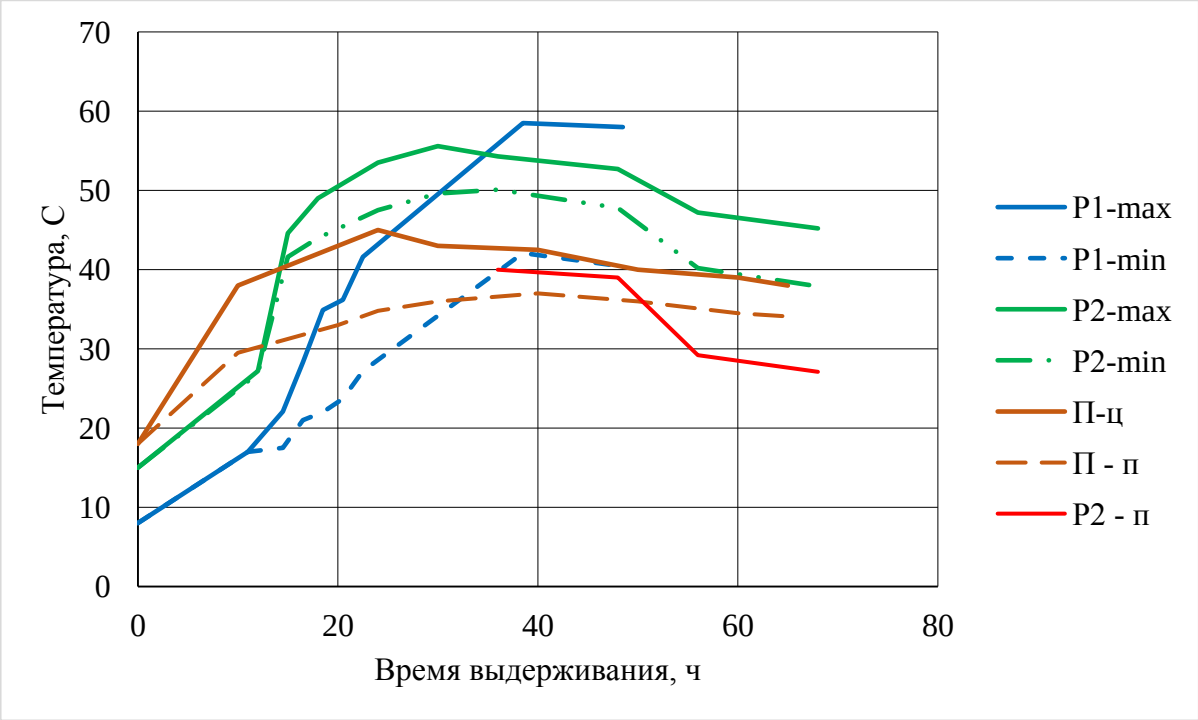

Рис. 3. - Изменение температуры бетона при выдерживании Р1 – max, min – соответственно максимальная и минимальная температура из 12 точек замера в центре Р1; Р2 – max, min - соответственно максимальная и минимальная температура из 6 точек замера в центре Р2, Р2 – п – средняя температура поверхности Р2; П-ц, П-п – соответственно средняя температура в центре и на поверхности П

По представленным на рис.3 данным, произведена оценка прогнозируемой прочности бетона в Р1, Р2 и П по показателю «зрелость бетона» и допустимого перепада температуры «центр-поверхность» как критерия трещиностойкости согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016. В Р1 к моменту начала остывания прогнозируемая прочность бетона составила 38 - 43% R_{28}, при этом согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016, допустимый перепад температуры при коэффициенте армирования конструкции 3% составляет 14 ^{o}С. В Р2 к моменту начала остывания прогнозируемая прочность бетона составила 40 - 42%, при этом допустимый перепад температуры при коэффициенте армирования конструкции 3% также составляет 14 ^{o}С. Максимальная скорость разогрева в Р2 составила 5,8 ^{o}С/ч, максимальная скорость остывания 1 ^{o}С/ч. В П к моменту начала остывания прогнозируемая прочность бетона составила 35 - 38%, при этом допустимый перепад температуры при коэффициенте армирования конструкции 3% составляет 13 ^{o}С. Максимальная скорость разогрева в П составила 2 ^{o}С/ч, максимальная скорость остывания 0,35 ^{o}С/ч. Из представленных на рис.3 данных очевидно, что регулирование температурного режима при бетонировании П и применение цемента с низкой экзотермией позволило существенно замедлить скорость остывания в сравнении с Р2 и Р1 (температура поверхности Р1 фиксировалась эпизодически). Важность регулирования температурного режима при бетонировании массивных конструкций показана, например, в [5], там же отмечена очевидная целесообразность применения цементов с умеренной экзотермией и важность снижения расхода цемента в составе бетона для снижения тепловыделения.

На рис.4 представлены данные о величине температурного перепада «центр-поверхность» для рассматриваемых конструкций.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

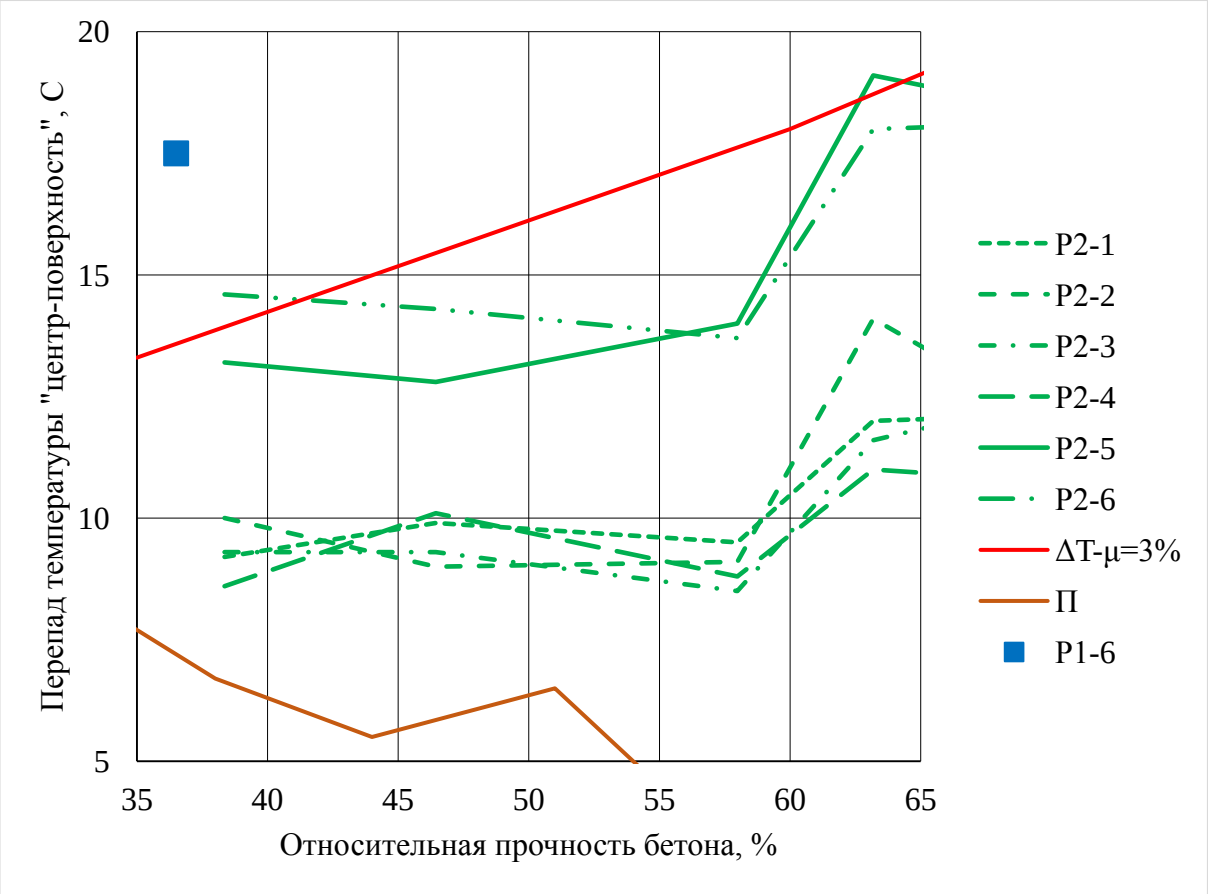

Рис. 4. - Перепад температуры «центр – поверхность» в зависимости при выдерживании в соотношении с расчетной относительной прочностью бетона

P2-1…P2-6 – точки замера в P2; P1-6 – в точке 6 P1

П – фундаментная плита 32,0x16,0x1,0 м; ΔT-μ=3% - допустимый перепад температуры «центр-поверхность» при коэффициенте армирования 3% согласно Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016

Из представленных на рис. 4 данных, очевидно, что вследствие реализации мероприятий по температурному регулированию при бетонировании П значения перепада температуры «центр-поверхность» значительно ниже потенциально опасных [6], тогда как в отдельных зонах P1 и P2 состояние на уровне критического. Следует отметить, что СП

435.1325800.2018, п. 10.6 предписывает в массивных монолитных конструкциях мероприятия по «уменьшению влияния температурно-влажностных полей напряжений, связанных с экзотермией при твердении бетона, на целостность и трещиностойкость конструкций», не оговаривая содержание мероприятий.

На рис.5 представлены данные о расчетной кинетике прочности бетона, полученные с использованием ф. (1) и данных об изменении температуры твердеющего бетона в период выдерживания.

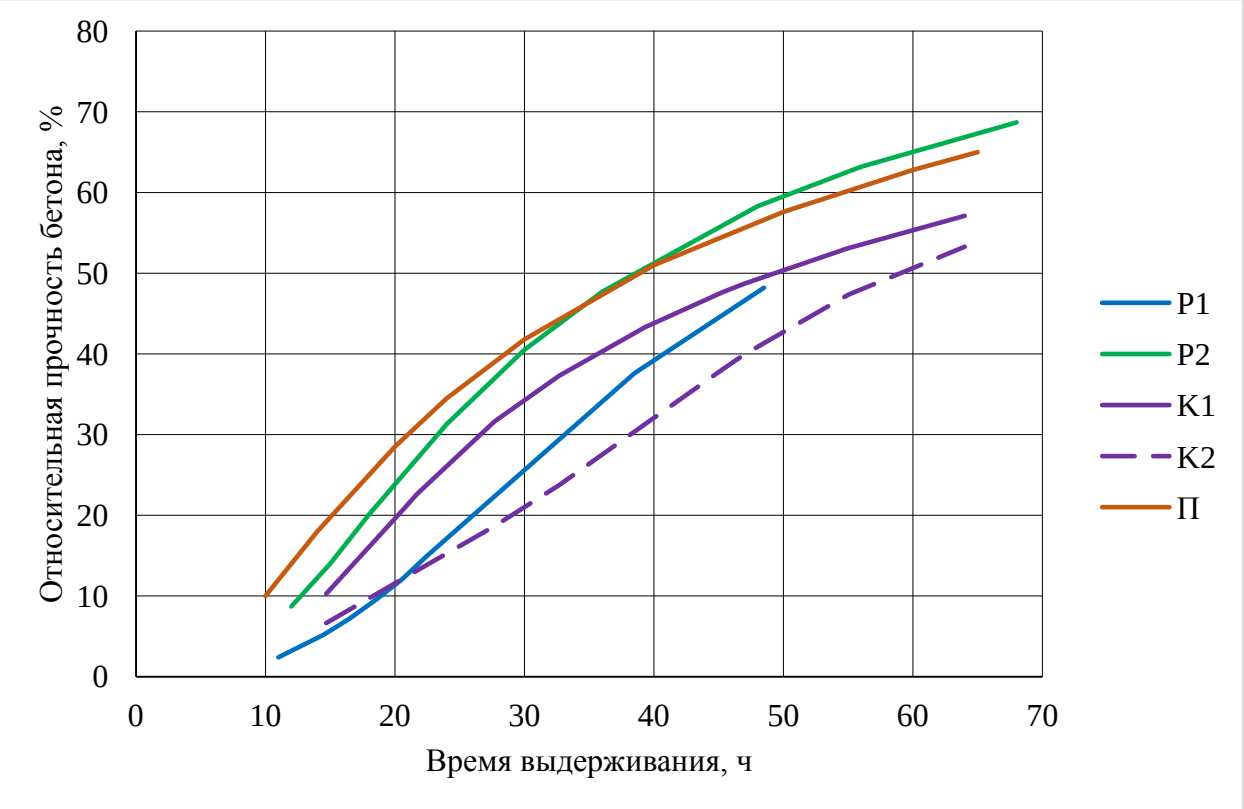

Рис. 5. - Расчетная кинетика усредненной относительной прочности бетона К1, К2 – соответственно кубы с добавкой на основе эфиров поликарбоксилатов и комплекса «Линамикс П90М» + «Аэро 815»; Р1, Р2 – соответственно ростверки Р1 и Р2; П – фундаментная плита 32,0х16,0х1,0 м

Практически полное совпадение расчетной кинетики прочности в Р2 и П очевидно, но при этом вследствие регулирования температурного режима

при бетонировании П посредством периферийного обогрева существенно снизилась скорость остывания в сравнении с Р2 и не возникали критические перепады температуры «центр-поверхность» (Р НОСТРОЙ 2.6.17-2016), в итоге трещинообразование при бетонировании П не зафиксировано, тогда как на поверхности Р1 и Р2 температурно-усадочные трещины зафиксированы.

Заключение

При бетонировании массивных железобетонных конструкций регулирование температурного режима выдерживания бетона посредством, например, периферийного обогрева, является обязательным, и требования нормативных документов по этому вопросу должны быть ужесточены и прописаны более конкретно. Регулирование температурного режима выдерживания бетона целесообразно осуществлять технологическими мероприятиями в сочетании с рецептурным управлением тепловыделением бетона. Измерение температуры в конструкции должно давать информацию о величине перепада температуры «центр-поверхность». В нормативных документах необходимо четко оговорить случаи обязательных испытаний на морозостойкость бетона по образцам, отобранным из конструкций. При разработке проектной документации при нормировании иных, помимо класса бетона по прочности на сжатие, показателей качества бетона, например, марки по морозостойкости, значения класса бетона по прочности на сжатие в первую очередь должны назначаться по условию обеспечения долговечности конструкции с учетом требований ГОСТ 31384-2017 и СП 28.13330.2017 в зависимости от класса среды эксплуатации. По этому вопросу все нормативные документы следует привести в соответствие с ГОСТ 31384-2017 и СП 28.13330.2017.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

Литература

1. Tazawa E., Miyazawa S. Influence of autogenous shrinkage on cracking in high strength concrete// 4 int. Conf. On High strength or High performance concrete. – Paris, 1996. – pp. 321-329

2. Farhad Aslani, Shami Nejadi Creep and Shrinkage Self-Compacting Concrete (SCC). Analytical Models / Journal of Civil Engineering and Architecture, 2012. Volume 6, № 1 (Serial No. 50). - pp. 93–100

3. 5th International Workshop on Material Properties and Design Durable Reinforced Concrete Structures. - Germany: Weimar. – 1998. 366 p.

4. Trong-Chuc Nguyen, Tang Van Lam Designing the Composition of Concrete with Mineral Additives and Assessment of the Possibility of Cracking in Cement-Concrete Pavement/ Materials Science Forum, 2018. Vol. 931. – pp. 667-673 DOI:10.4028/scientific.net/MSF.931.667

5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В., Кардумян Г.С., Ургапов В.И. Опыт возведения уникальных конструкций из модифицированных бетонов на строительстве комплекса "Федерация"// Промышленное и гражданское строительство, 2006. №8. - С. 20-22.

6. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш., Исмаилова З.Х., Джандаров А.Ш. Особенности разработки составов высокопрочных бетонов для долговечного монолитного строительства // Теоретические основы создания эффективных композитов. Сборник материалов Российской онлайн-конференции, посвященной Дню науки, 2018. – С. 256-262

7. Муртазаев С.А.Ю., Сайдумов М.С., Аласханов А.Х., Муртазаева Т.С.А. Высокопрочные бетоны повышенной жизнеспособности для конструкций фундаментов МФК «Ахмат-Тауэр» // Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, 2017. – С. 875-883

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

8. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.

9. Подвальный А.М. О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений // Бетон и железобетон, 2004. №6. - С. 4-6

10. Несветаев Г.В., Долгова А.В., Постой Л.В. К вопросу оценки морозостойкости бетонов по критерию прочности // Инженерный вестник Дона, 2019. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6106

11. Кузмин Н.Г., Уляшинский В.А. Сопоставление прочности бетона гидротехнических сооружений Красноярской ГЭС, определенной разрушающим и неразрушающими методами // Гидротехника. XXI век, 2017. № 4 (52). - С. 50-53

12. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С., Коллеганов А.В. Рациональные схемы контроля прочности бетона по ГОСТ 18105 // Инженерный вестник Дона, 2019. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5782

13. Коревицкая М.Г., Бруссер М.И., Кузеванов Д.В., Анцибор А.В. Актуализация правил контроля и оценки прочности бетона по ГОСТ 18105 // Строительные материалы, 2018. №8. - С. 66-68 DOI: doi.org/10.31659/0585-430X-2018-762-8-66-68.

References

1. Tazawa E., Miyazawa S. Influence of autogenous shrinkage on cracking in high strength concrete, 4 int. Conf. On High strength or High performance concrete. Paris, 1996. pp. 321-329

2. Farhad Aslani, Shami Nejadi Journal of Civil Engineering and Architecture, 2012. Volume 6, No. 1 (Serial No. 50). pp. 93-100.

3. 5th International Workshop on Material Properties and Design Durable Reinforced Concrete Structures. Germany: Weimar. 1998. 366 p.

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021

4. Trong-Chuc Nguyen, Tang Van Lam Materials Science Forum, 2018. Vol. 931. pp. 667-673 DOI:10.4028/scientific.net/MSF.931.667

5. Kaprielov S.S., Shejnfel`d A.V., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V., Kardumyan G.S., Urgapov V.I. Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo, 2006. №8. pp. 20-22

6. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Ismailova Z.X., Dzhandarov A.Sh. Teoreticheskie osnovy` sozdaniya e`ffektivny`x kompozitov. Sbornik materialov Rossijskoj onlajn-konferencii, posvyashhennoj Dnyu nauki, 2018. pp. 256-262

7. Murtazaev S.A.Yu., Sajdumov M.S., Alasxanov A.X., Murtazaeva T.S.A. Fundamental`ny`e osnovy` stroitel`nogo materialovedeniya. Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo oglajn-kongressa, 2017. pp. 875-883

8. Nesvetaev G.V. Betony` [Concrete]: uchebno-spravochnoe posobie. 2-e izd., pererab. i dop. Rostov-na-Donu: Feniks, 2013. 381 p.

9. Podval`ny`j A.M. Beton i zhelezobeton, 2004. №6. pp. 4-6

10. Nesvetaev G.V., Dolgova A.V., Postoj L.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. №7 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6106

11. Kuzmin N.G., Ulyashinskij V.A. Gidrotexnika. XXI vek, 2017. № 4 (52). pp. 50-53.

12. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S., Kolleganov A.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2019. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/578220

13. Koreviczkaya M.G., Brusser M.I., Kuzevanov D.V., Ancibor A.V. Stroitel`ny`e materialy`, 2018. №8. pp. 66-68

© Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2007–2021