УДК 667.97:624.012.4

А.Р. Соловьянчик, А.В. Гинзбург*, И.С. Пуляев**

*ОАО ЦНИИС, *ООО «НПО «Космос», **ФГБОУ ВПО «МГСУ»*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К УХОДУ ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены вопросы обеспечения требуемых потребительских свойств бетона транспортных сооружений на основе опыта использования технологических приемов, базирующихся на научно-технических достижениях в области бетоноведения.

Ключевые слова: твердеющий бетон, качество, температура, напряжение, прочность, уход за бетоном, транспортные сооружения.

К бетону транспортных сооружений предъявляются повышенные требования по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, трещиностойкости и долговечности. Выполнение этих требований в значительной мере зависит от качества ухода за твердеющим бетоном в процессе его выдерживания. На производстве данная операция в основном сводится к поддержанию температурного режима в определенных рамках и обеспечению допустимых перепадов температур как в процессе выдерживания, так и после снятия опалубки и тепловой изоляции. В холодный период года добавляются требования по обеспечению положительных температур твердения бетона.

Однако такая постановка вопроса далеко не полная, а иногда и совершенно неправильная. Дело в том, что при уходе за бетоном недостаточно учитывать только вопросы термонапряженного состояния, зависящего от температур и от особенностей структурообразования, связанных с изменением температурного режима твердеющего бетона. На эксплуатационные свойства бетона большое влияние оказывают различные виды температурных напряжений, возникающих при твердении бетона: субмикронапряжения, микронапряжения и макронапряжения.

Субмикронапряжения в цементном камне возникают из-за разности свойств (теплофизических и физико-механических) составляющих материалов непосредственно цементного камня без учета крупного и мелкого заполнителя. Микронапряжения возникают из-за разности теплофизических и механических свойств цементного камня, песка и крупного заполнителя. Микронапряжения возникают при перепаде температур по массиву изделия и зависят от свойств бетона, массивности изделия, условий теплообмена с окружающей средой и ряда других факторов.

В настоящее время при разработке методов выдерживания бетона перечисленные виды температурных напряжений в какой-то мере учитываются, однако есть еще один вид температурных напряжений, который чаще всего опускается или учитывается только небольшой группой ученых, входящих в научную школу В.С. Лукьянова. Это остаточные или собственные макронапряжения в бетоне.

© Соловьянчик А.Р., Гинзбург А.В., Пуляев И.С., 2013

Под остаточными или собственными температурными напряжениями понимают напряжения, которые существуют в бетоне при равномерном распределении температур по ее массиву (или по толщине). Остаточные температурные напряжения могут понижать или повышать трещиностойкость бетона и в связи с этим они должны учитываться при разработке технологии бетонирования монолитных или изготовления сборных и железобетонных конструкций.

Более 60 лет назад В.С. Лукьянов выдвинул гипотезу о существовании остаточных (собственных) температурных напряжений в бетонных конструкциях, их наличие было подтверждено сначала им же [1] при строительстве опор мостов, а позднее Б.Н. Комзиным путем проведения сложных экспериментов с использованием датчиков напряжений при строительстве Куйбышевской ГЭС. В конце 1960-х гг. А.Р. Соловьянчиком и В.С. Лукьяновым [2] были разработаны физические основы прогнозирования остаточного (собственного) термонапряженного состояния, подтвержденные исследованиями структурообразования в цементном камне. Полученные с помощью электронного микроскопа результаты позволили вносить корректировки в требования к выдерживанию бетона, назначению допустимых перепадов температур в бетонных конструкциях при их изготовлении и в процессе эксплуатации. Однако при строительстве подземных сооружений (автотоннелей, тоннелей метро и др.) новые результаты начали использовать только несколько лет назад, основываясь на разработках ОАО ЦНИИС.

Выполненные в ОАО ЦНИИС экспериментальные и теоретические исследования показали, что величина остаточных температурных напряжений зависит от особенностей формирования свойств бетона как материала и от характера температурной кривой (или температурного поля) нулевых напряжений. Под температурным полем нулевых напряжений понимают распределение температур в бетоне, при котором в нем отсутствуют температурные напряжения. Важно уметь правильно определять температурное поле нулевых напряжений, понимать процессы, которые обусловливают его появление. Без понимания механизма, времени и условий возникновения остаточных температурных напряжений нельзя научиться регулировать собственное термонапряженное состояние в требуемом направлении с целью повышения трещиностойкости конструкции.

Рассмотрим, как формируется собственное термонапряженное состояние в бетоне. В свете современных представлений процесс твердения цементного камня в изделии по времени можно условно разделить на две стадии: стадию формирования первичных, мало стабильных структур и стадию формирования вторичной структуры из мельчайших кристалликов гидросиликатов кальция, определяющей прочность цементного камня. На первом этапе после затворения цемента водой алюминаты и алюмоферриты кальция гидратируются значительно быстрее других минералов. Продуктами их гидратации в присутствии гипса являются высоко- и низкосульфатные гидросульфоалюмоферриты и гидроалюмоферриты кальция, а при отсутствии гипса в основном образуются гидроалюминаты кальция. В твердеющем камне возникают скелетные сростки и скелетные структуры из гидросульфоалюмоферритов и гидроалюмоферритов. На фоне алюминатных структур начинают появляться силикатные структуры в

виде отдельных пластинчатых кристаллов $Ca(OH)_2$. Появление структур из гидросульфоалюмоферритов кальция обеспечивает схватывание цементного камня. Однако к этому времени цементный камень как материал еще не сформировался. Дело в том, что к концу периода первичные структуры распадаются. Как указывает М.М. Сычев [3, 4] в них существуют межагрегативные контакты электростатической и электромагнитной природы. Наличие таких контактов обеспечивает некоторую прочность цементного камня, а также пластические свойства цементного камня, в связи с чем на этой стадии бетонная смесь еще не является настоящим бетоном. Вторичные структуры из гидросиликатов кальция проходят несколько стадий: образование отдельных кристаллов, затем кристаллических сростков и впоследствии — пространственных кристаллизационных структур. В пространственных кристаллизационных структурах, возникающих к моменту распада первичных структур, появляются валентные связи. В таких структурах сдвиг кристаллов может привести к крупному разрушению, поэтому время возникновения пространственной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция в принципе можно считать временем превращения бетонной смеси в бетон, временем возникновения бетона как материала.

Время превращения бетонной смеси в бетон особенно важно знать при исследовании термонапряженного состояния твердеющего бетона, ибо температурные напряжения начинают возникать при переходе материала из пластического состояния в упругое. Понимание этого фактора привело к тому, что в ходе развития теории формирования остаточных температурных напряжений в бетоне, за время формирования температурной кривой нулевых напряжений начали принимать время образования пространственной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция в слое изделия с наибольшим отставанием процесса гидратации.

На начальном этапе проведения исследований остаточных температурных напряжений было принято, что время перехода бетонной смеси в бетон следует считать в момент достижения им прочности, равной 30 % от R_{28}. Уникальный эксперимент, проведенный Б.Н. Комзиным при строительстве Куйбышевской ГЭС, в целом подтвердил указанную величину. Впоследствии важно было обосновать полученные результаты с позиций структурообразования в бетоне.

Выполненные А.Р. Соловьянчиком в НИИЖБ исследования с помощью электронного микроскопа показали, что действительно пространственная кристаллизационная структура из гидросиликатов кальция образуется при прочности бетона $(0{,}25\ldots0{,}3)R_{28}$. При этом наблюдается повышенная интенсивность тепловыделения при гидратации цемента, что можно объяснить ускоренным темпом образования кристаллизационных структур в цементном камне. Исследование структурообразования в твердеющем цементном камне с помощью электронного микроскопа показало, что в это время наблюдается образование наибольшего количества кристаллических сростков и пространственных кристаллизационных структур [5—7]. При определении условий и времени формирования температурной кривой (поля) нулевых напряжений в бетоне предполагается, что ее формирование связано с особенностями структурообразования при гидратации цемента в массиве бетонной конструкции от воздействия температурного фактора.

В случае равномерного распределения температуры по массиву конструкции при твердении бетона процесс образования вторичной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция протекает с одинаковой скоростью во всем массиве, не вызывая, в конечном итоге, остаточных температурных напряжений в затвердевшей конструкции. При неравномерном распределении температуры по массиву конструкции, например, при периферийном обогреве, вторичная кристаллизационная структура из гидросиликатов кальция во внутренних слоях образуется позднее, чем в наружных, и замыкание фронтов кристаллизации произойдет при значительном перепаде температур. При последующем выравнивании температур по толщине конструкции, например, вследствие остывания, наружные слои конструкции должны сократиться больше внутренних. Но этого не произойдет, так как внутренние слои будут препятствовать деформации наружных слоев, вызывая в них появление собственных (остаточных) растягивающих напряжений, снижающих трещиностойкость наружных слоев. Сами же внутренние слои окажутся сжатыми. Такое собственное термонапряженное состояние конструкции для подземных сооружений недопустимо, так как при этом понижается водонепроницаемость бетона. В связи с этим указанный фактор следует учитывать при выборе технологии выдерживания бетона тоннельных конструкций.

При твердении бетона в опалубке с малым термическим сопротивлением тепловой изоляции, бетон внутренних слоев вследствие экзотермии цемента разогревается больше, чем в наружных слоях, остывающих при более низких температурах. При таких условиях выдерживания бетона процесс образования вторичной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция протекает быстрее во внутренних слоях, чем в наружных. Если данный процесс при значительном перепаде температур по толщине конструкции произойдет позже в наружных слоях, а температура средних слоев будет выше, то при последующем выравнивании температур во всем массиве конструкции внутренние слои сократятся больше наружных. А так как наружные слои будут препятствовать деформации внутренних, то они окажутся сжатыми и более трещиностойкими, чем внутренние. Это особенно важно для конструкций подземных сооружений, поскольку при этом повышается водопроницаемость бетона, а сама конструкция будет более стойкой к колебаниям температур окружающей среды [8].

В процессе твердения бетона подземных сооружений образуется вогнутое или выпуклое поле температурных нулевых напряжений. Под выпуклым полем нулевых температурных напряжений понимают поле, в котором в середине массива температура выше, чем в поверхностных слоях. Выпуклое поле температурных нулевых напряжений возникает при выдерживании бетона методом термоса или внутреннем электропрогреве бетона. При выпуклом поле в конструкции образуются благоприятные собственные температурные напряжения, повышающие трещиностойкость бетона и величину допустимых перепадов температур при остывании бетона. При вогнутом температурном поле нулевых напряжений температура бетона на поверхности изделия выше температуры в его центре и в конструкции возникают неблагоприятные температурные напряжения, резко снижающие трещиностойкость наружных слоев и величину допустимых перепадов температур при остывании изделий из бетона.

Эти моменты обязательно следует учитывать при разработке технологического ухода за бетоном.

Остаточные температурные напряжения в отдельных элементах конструкций возникают и при их защемлении в основании, например, при твердении бетона перекрытий, защемленных в стены. Характер температурных полей и термонапряженного состояния здесь другой, чем в изделиях, твердеющих без защемления. Из-за защемления в конструкциях могут возникнуть вертикальные трещины. При этом из-за особенностей формирования остаточных напряжений в твердеющем бетоне в зоне защемления эти трещины начинаются не в зоне рабочего шва, а выше него на 60…100 см. Уменьшить вероятность появления таких трещин можно путем установки дополнительной тепловой изоляции верха стены или прогрева стены перед укладкой бетона. Величина отогрева должна определяться путем анализа результатов теплофизических расчетов. Снижение трещинообразования в этом случае достигается путем разбивки конструкции на блоки бетонирования.

Таковы основные предпосылки формирования собственного термонапряженного состояния бетонных конструкций и возникновения остаточных температурных напряжений в изделиях.

Проведенный анализ условий формирования собственного термонапряженного состояния бетонных конструкций показывает, что за температурную кривую (или температурное поле) нулевых напряжений при периферийном обогреве можно принимать распределение температуры по толщине конструкции во время замыкания фронтов кристаллизации гидросиликатов кальция, идущих от поверхности конструкции к ее центральным слоям, а при термосном выдерживании или внутреннем прогреве — распределение температур по толщине конструкции во время образования пространственной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция в наружных слоях, имеющих наибольшее отставание процесса гидратации. Таким образом, для того чтобы уметь правильно определять время и характер температурной кривой нулевых напряжений, необходимо знать время образования вторичной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция в слое с наибольшим отставанием процесса гидратации цемента.

Остаточные температурные напряжения, как это указывалось ранее, повышают или понижают трещиностойкость конструкций. Этот фактор необходимо учитывать при назначении допустимых перепадов температур при уходе за бетоном. Обычно принято, что величина допустимого перепада температур по массиву конструкции при остывании бетонной смеси может составлять 20 °С. Проведенные нами многочисленные исследования на практике показывают, что такое утверждение неверно. Величину допустимого перепада температур при остывании бетона следует назначать с учетом формирования остаточных температурных напряжений, и эта величина может быть как значительно больше, так и значительно меньше 20 °С. На практике известны случаи, когда конструкции растрескивались уже при выравнивании температур в процессе остывания.

Величину остаточных температурных напряжений можно регулировать изменением величины термического сопротивления тепловой изоляции, обеспечивая формирование благоприятного собственного термонапряженного состояния, в ходе которого следует помнить, что в конструкциях стен или перекрытий тоннеля во внутренних слоях образуются растягивающие температурные напряжения, поэтому при разработке технологии производства бетонных работ желательно, чтобы в образовавшемся температурном поле нулевых напряжений величина температур в середине массива не превышала температуры на поверхности более чем на 20 °С. Иначе в бетоне могут возникнуть наружные трещины. Следует отметить, что формирование остаточных температурных напряжений наблюдается как в массивных, так и в маломассивных конструкциях, имеющих толщину более 10 см.

В холодный период года бетон твердеет в технологических укрытиях, где температура окружающей среды составляет +5…+10 °С. При возведении массивных стен или перекрытий, соприкасающихся с наружным воздухом, по сечению изделий могут возникать перепады температур до 40…60 °С с последующим образованием внутренних температурных трещин. Уменьшение таких перепадов до допустимых величин можно обеспечить путем постановки тепловой изоляции, термическое сопротивление которой должно определяться на основе теплофизических расчетов. Важно научиться правильно учитывать остаточные напряжения при определении допустимых перепадов температур. В общем случае ее величину можно определить путем сложения допустимого перепада температур для случая с равномерным распределением температур (20 °С) с перепадом температур, образующимся во время формирования температурной кривой нулевых напряжений [9]. Тогда при выпуклой кривой нулевых напряжений он будет равен 20 °С + Δt, а при вогнутой температурной кривой допустимая разность температур будет равна 20 °С – Δt, где Δt — разность температур бетона в поверхностных слоях и в центре изделия во время образования температурной кривой нулевых напряжений.

Величину допустимых перепадов температур по сечению конструкции можно приближенно определить по графикам изменения температур и прочности твердеющего бетона, полученным на основании проведения теплофизических расчетов. Например, для банкетки тоннеля (рис. 1), забетонированной при температуре бетонной смеси 20 °С, температуре наружного воздуха 15 °С и температуре основания 10 °С по графику (рис. 2) определяем время формирования температурного поля нулевых напряжений в слое с наибольшим отставанием процесса гидратации при прочности бетона $R = 0{,}3R_{28}$. Проецируем полученное значение на график температур и получаем перепад температур в момент образования поля нулевых напряжений, он составляет 16 °С. Учитывая, что температурная кривая нулевых напряжений выпуклая, допустимый перепад температур при остывании бетона составит $\Delta t = 20 + 17 = 37$ °С. Из этого следует, что учет собственных температурных напряжений в твердеющем бетоне позволяет сократить сроки ухода за бетоном при большей величине допустимых перепадов температур.

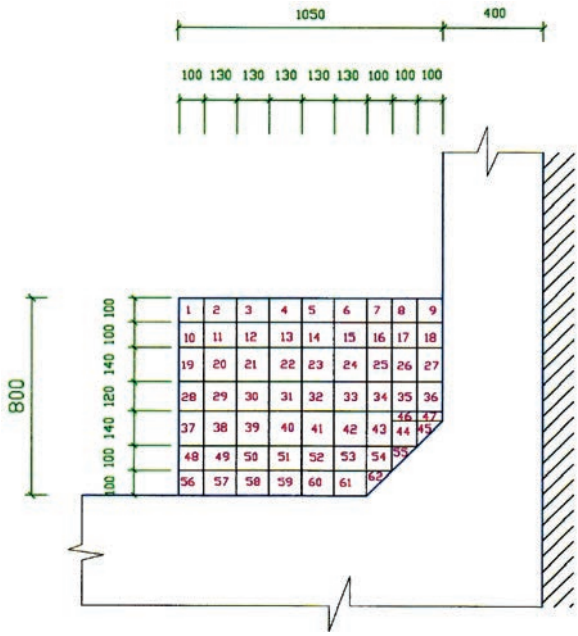
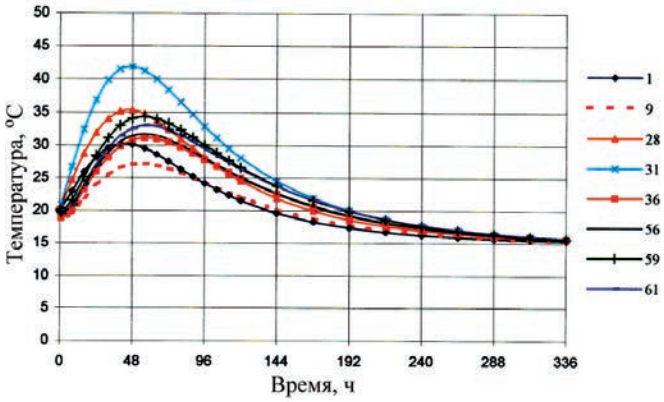
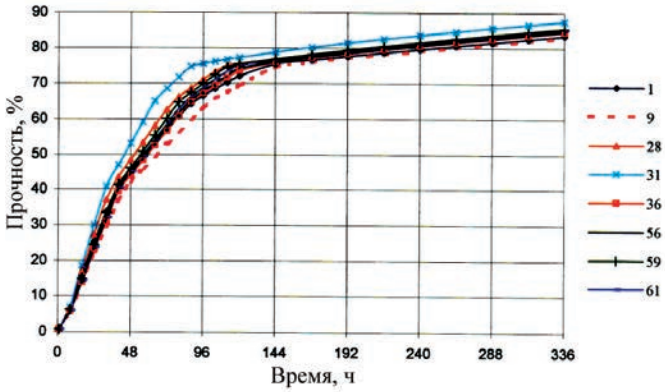


Рис. 1. Расчетная схема банкетки



а



б

Рис. 2. Графики изменения температуры (*а*) и прочности (*б*) твердеющего бетона банкетки

Результаты представленной работы по усовершенствованию метода определения допустимых перепадов температур при твердении бетона использованы при строительстве Лефортовского, Серебряноборского, Ленинградского, Волоколамского, Алабяно-Балтийского и ряда других тоннелей, что позволило обеспечить значительное ускорение темпов их строительства [9, 10].

Библиографический список

1. *Лукьянов В.С., Денисов И.И.* Расчет термоупругих деформаций массивных бетонных опор мостов для разработки мер по повышению их трещиностойкости // Сб. тр. ЦНИИС. М. : ЦНИИС, 1970. Вып. 36. С. 4—43.

2. *Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р.* Физические основы прогнозирования собственного термонапряженного состояния бетонных и железобетонных конструкций // Сб. тр. ЦНИИС. М. : ЦНИИС, 1972. Вып. 75. С. 36—42.

3. *Сычев М.М.* Твердение вяжущих веществ. Л. : Стройиздат, 1974. 80 с.

4. *Сычев М.М.* Твердение цементов. Л. : Издание ЛТИ им. Ленсовета, 1981. 88 с.

5. *Schoppel K., Plannerer M., Springenschmid R.* Determination of Restraint Stresses of Material Properties during Hydration of Concrete with the Temperature-stress Testing Machine. Proceedings of the International RILEM Symposium. Munich, 1994, no. 25, pp. 369—376.

6. *Solovyanchik A.R., Krylov B.A., Malinsky E.N.* Inherent Thermal Stress Distributions in Concrete Structures and Method for their Control. Thermal Cracking in Concrete at Early Ages. Proceedings of the International RILEM Symposium. Munich, 1994, no. 25, pp. 369—376.

7. *Thielen G., Hintzen W.* Investigation of Concrete Behavior Under Restraint with a Temperature-stress Test Machine. Proceding of the International RILEM Symposium. Munich, 1994, no. 25, pp. 142—152.

8. *Антонов Е.А.* Технологическая особенность качества — реальная система организации строительства сооружений с гарантированной эксплуатационной надежностью // Сб. тр. ЦНИИС. М. : ЦНИИС, 2003. Вып. 217. С. 222—226.

9. *Соловьянчик А.Р., Сычёв А.П., Шифрин С.А.* Опыт проведения работ по выявлению и устранению дефектов и трещин при строительстве Гагаринского и Волоколамского тоннелей в г. Москве // Сб. тр. ЦНИИС. М. : ЦНИИС, 2002. Вып. 209. С. 6—18.

10. *Шифрин С.А.* Учет неритмичности технологических процессов при выборе и обосновании режимов бетонирования разномассивных конструкций транспортных сооружений // Сб. тр. ЦНИИС. М. : ЦНИИС, 2003. Вып. 217. С. 206—216.

Поступила в редакцию в сентябре 2013 г.

Об авторах: **Соловьянчик Александр Романович** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, **ОАО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (ОАО «ЦНИИС»)**, 129329, г. Москва, ул. Кольская, д. 1, 8(499)189-60-48, ivanes50@mail.ru;

Гинзбург Александр Владимирович — кандидат технических наук, вице-президент по региональному развитию, **ООО «Научно-производственное объединение «Космос» (ООО «НПО «Космос»)**, 111123, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 38, стр. 25, 8(495)662-13-42, pom.kosmos@mail.ru;

Пуляев Иван Сергеевич — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8(499)189-33-45, PulyaevIS@tsniis.com.

Для цитирования: *Соловьянчик А.Р., Гинзбург А.В., Пуляев И.С.* Обеспечение повышенных требований к уходу за твердеющим бетоном при возведении конструкций транспортных сооружений // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 156—165.

A.R. Solov'yanchik, A.V. Ginzburg, I.S. Pulyaev

COMPLIANCE WITH THE INCREASED DEMANDS ON THE CURING OF HARDENING CONCRETE IN THE PROCESS OF TRANSPORT FACILITIES CONSTRUCTION

Recently the requirements to the high quality of works for critical groups of buildings are more rigid in Russia. This also concerns the transport structures, which play the key role, such as bridges, tunnels, overpasses and other similar facilities. Particularly high requirements for these structures are: reliability, frost resistance, water resistance, crack resistance and durability. In this article the main principles of providing high consumer properties of these objects are highlighted. Modern achievements in concrete researches are used, which are based on scientific studies performed in JSC CNIIS.

The main problem in the process of concrete curing is not only in thermostressed state, which depends on the temperature and on the features of structure formation related to the changes in temperature regime of hardening concrete. The service properties of concrete are also influenced by different kinds of thermal stresses, occurring during concrete hardening: submicrostresses, microstresses and macrostresses. A special role in the theory of concrete hardening is played by the so-called own (or residual) thermal stress, which increases or decreases fracture of constructions. With the help of the accounting for these types of thermal stresses, the author shows how to increase crack resistance of concrete constructions without use of extra means of protection from temperature cracks. Furthermore, the author vividly shows, how to consider the magnitude of the temperature drops properly, which occur in concrete and lead to the formation of residual thermal stresses. The research of thermal stresses helps to reduce the cost of the device for additional thermal insulation of concrete, and to achieve high consumer properties of a construction. Positive results from the performed work were used in the construction of a number of transport tunnels in the city of Moscow, which led to the acceleration of their construction and reduced the cost of providing perfect quality of performed works.

Key words: hardening concrete, quality, temperature, stress, reliability, curing of concrete, transport facilities.

References

1. Luk'yanov V.S., Denisov I.I. *Raschet termouprugikh deformatsiy massivnykh betonnykh opor mostov dlya razrabotki mer po povysheniyu ikh treshchinostoykosti* [Thermoelastic Deformation Analysis of Concrete Plate Piers for the Methods Development for Increasing their Crack Resistance]. *Sbornik trudov TsNIIS* [Collected works of the Central Research Institute of Transport Construction]. Moscow, TsNIIS Publ., 1970, no. 36, pp. 4—43.

2. Luk'yanov V.S., Solov'yanchik A.R. Fizicheskie osnovy prognozirovaniya sobstvennogo termonapryazhennogo sostoyaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy [Physical Basis of Predicting the Own Termostressed State of Concrete and Reinforced Concrete Structures]. *Sbornik trudov TsNIIS* [Collected works of the Central Research Institute of Transport Construction]. Moscow, TsNIIS Publ., 1972, no. 75, pp. 36—42.

3. Sychev M.M. *Tverdenie vyazhushchikh veshchestv* [The Hardening of the Binders]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1974, 80 p.

4. Sychev M.M. *Tverdenie tsementov* [Hardening of the Cements]. Leningrad, LTI imeni Lensoveta Publ., 1981, 88 p.

5. Schoppel K., Plannerer M. Springenschmid R. Determination of Restraint Stresses of Material Properties during Hydration of Concrete with the Temperature-stress Testing Machine. Proceedings of the International RILEM Symposium. Munich, 1994, no. 25, pp. 153—160.

6. Solovyanchik A.R., Krylov B.A., Malinsky E.N. Inherent Thermal Stress Distributions in Concrete Structures and Method for their Control. Thermal Cracking in Concrete at Early Ages. Proceedings of the International RILEM Symposium. Munich, 1994, no. 25, pp. 369—376.

7. Thielen G., Hintzen W. Investigation of Concrete Behavior under Restraint with a Temperature-stress Test Machine. Proceedings of the International RILEM Symposium. Munich, 1994, no. 25, pp. 142—152.

8. Antonov E.A. Tekhnologicheskaya osobennost' kachestva — real'naya sistema organizatsii stroitel'stva sooruzheniy s garantirovannoy ekspluatatsionnoy nadezhnost'yu [Technological Feature of the Quality — a Real Construction Organizational System with the Guaranteed Servicability]. *Sbornik trudov TsNIIS* [Collected works of the Central Research Institute of Transport Construction]. Moscow, TsNIIS Publ., 2003, no. 217, pp. 222—226.

9. Solov'yanchik A.R., Sychev A.P., Shifrin S.A. Opyt provedeniya rabot po vyyavleniyu i ustraneniyu defektov i treshchin pri stroitel'stve Gagarinskogo i Volokolamskogo tonneley v g. Moskve [An Experience in Localizing and Fixing the Defects and Cracks in the process of Constructing Gagarinskiy and Volokolamskiy Tonnels in Moscow]. *Sbornik trudov TsNIIS* [Collected works of the Central Research Institute of Transport Construction]. Moscow, TsNIIS Publ., 2002, no. 209, pp. 6—18.

10. Shifrin S.A. Uchet neritmichnosti tekhnologicheskikh protsessov pri vybore i obosnovanii rezhimov betonirovaniya raznomassivnykh konstruktsiy transportnykh sooruzheniy [Accounting for the Unsteadiness of Technological Processes in the process of Choosing and Rationalizing Concrete Pouring Regimes of Transport Facilities Constructions]. *Sbornik trudov TsNIIS* [Collected works of the Central Research Institute of Transport Construction]. Moscow, TsNIIS Publ., 2003, no. 217, pp. 206—216.

About the authors: **Solov'yanchik Aleksandr Romanovich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Research Scientist, **JSC «Scientific Research Institute of Transport Construction» (JSC CNIIS),** 1, Kol'skaya st., Moscow, 129329, Russian Federation; ivanes50@mail.ru; (+7499)189-60-48;

Ginzburg Aleksandr Vladimirovich — Candidate of Technical Sciences, Vice-President for regional development, **Limited Liability Company «Scientific Production Association «Cosmos» (LLK «NPO «KOSMOS»)**, 25 building, 38, shosse Entuziastov, Moscow, 111123, Russian Federation; pom.kosmos@mail.ru; (+7495) 662-13-42;

Pulyaev Ivan Sergeevich — Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Department of construction materials, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU),** 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; PulyaevIS@tsniis.com; (+7499)189-33-45.

For citation: Solov'yanchik A.R., Ginzburg A.V., Pulyaev I.S. Obespechenie povyshennykh trebovaniy k ukhodu za tverdeyushchim betonom pri vozvedenii konstruktsiy transportnykh sooruzheniy [Compliance with the Increased Demands on the Curing of Hardening Concrete in the Process of Transport Facilities Construction]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 10, pp. 156—165.