УДК 693.557

ОПЫТ НАУЧНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ «КАЧЕСТВО»

***И.С. Пуляев, С.М. Пуляев**
НИУ МГСУ, Москва, Россия
**ivanes50@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

Введение. *В статье рассматриваются вопросы, связанные с реализацией концепции «качество» при строительстве железобетонных объектов транспортного назначения, неразрывно связанной с применением научного сопровождения в период их проектирования и возведения. Исходя из того что в последние годы в нашей стране возводится большое количество транспортных объектов, спроектированных по индивидуальным проектам, а также основываясь на опыте научного сопровождения достаточно большого количества объектов транспортной инфраструктуры, можно с уверенностью сказать, что данная проблема является на сегодняшний день особенно актуальной в условиях внедрения современных строительных решений в сочетании с необходимостью получения требуемых свойств бетонных конструкций и обеспечения экономической целесообразности строительства. Целью настоящей работы является обобщение и систематизация основных методов и технологических приемов ведения бетонных работ, обеспечивающих минимизацию образования дефектов и трещин на строительной площадке при сооружении объектов транспортной инфраструктуры.*

Материалы и методы. *В настоящей статье на примере достаточного количества различных технологий, использованных при возведенных большого числа объектов в России в течение последних 10 лет и находящихся на стадии завершения строительства, показаны разработанные методы получения бетонных изделий высокого качества с учетом применения современных строительных материалов, которые многократно апробированы и доказали свою эффективность в реальном строительном секторе.*

Результаты. *Полученные результаты легли в основу проектов производства работ, технологических регламентов на производство работ, технических условий и стандартов организаций, руководств, а также позволили реализовать концепцию «качество» в транспортном строительстве, основанную на получении бездефектных железобетонных конструкций с заданными свойствами с учётом применения современных строительных материалов.*

Обсуждение и заключение. *Проведенные исследования позволили осуществить строительство внеклассных сложных транспортных сооружений различной массивности и протяженности и могут лечь в основу технологии возведения других объектов промышленного и гражданского строительства, в которых широкое применение получил железобетон. Статья будет интересна и полезна специалистам, занимающимся обеспечением бездефектного возведения железобетонных строительных конструкций, инженерно-техническим работникам, ведущим свою деятельность в условиях реального строительства, и посвящается памяти профессора, доктора технических наук А.Р. Соловьянчика (1938–2019).*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *железобетон, тепловыделение, температура, прочность, термонапряженное состояние, качество, научное сопровождение, транспортные объекты, ремонт.*

© И.С. Пуляев, С.М. Пуляев

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE: EXPERIENCE OF SCIENTIFIC SUPPORT IN CONSTRUCTION WITHIN THE "QUALITY" CONCEPT IMPLEMENTATION

***I.S. Pulyaev, S.M. Pulyaev**
Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia
**ivanes50@mail.ru*

ABSTRACT

Introduction. *The paper deals with the issues related to the implementation of the "quality" concept in the construction of reinforced concrete transport facilities linked with the scientific support during design and construction. Nowadays this problem particularly relevant in the context of the modern construction solutions, combined with the need to obtain the required properties of concrete structures and ensure the economic feasibility of construction. The aim of the research is to generalize and systematize the main methods and techniques of concrete works, which minimize the defects and cracks while the construction of transport infrastructure.*
Materials and methods. *On the example of different technologies used in the Russian construction over last 10 years, the authors demonstrated the developed methods of obtaining high quality concrete products taking into account tested and proved modern building materials.*
Results. *The results of the research formed the basis of the projects, technological regulations for the production, specifications and standards of organizations, guidelines. Moreover, the results also allowed implementing the concept of "quality" in transport construction based on obtaining defect-free reinforced concrete structures with specified properties, taking into account the use of modern building materials.*
Discussion and conclusions. *The research allows carrying out construction of various massiveness and extent. The obtained results form the basis of construction technology of other industrial and civil construction objects with reinforced concrete application. The paper is interesting and useful for specialists in providing defect-free construction of reinforced concrete building structures, for engineering and technical staff. The authors dedicate the research to the memory of Professor and Doctor of Technical Sciences, A.R. Solovyanchik (1938-2019).*

KEYWORDS: *reinforced concrete, heat release, temperature, strength, thermal stress state, quality, scientific support, transport facilities, repair.*

© I.S. Pulyaev, S.M. Pulyaev

Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Российской Федерации возводится большое количество сооружений, спроектированных посредством индивидуальных проектов, которые сочетают в себе сложные геометрические размеры в плане с применением современных строительных материалов и систем. Наряду с указанными объектами достаточно массовый характер имеет строительство сооружений, спроектированных по типовым решениям, но исходя из условий рыночных отношений, с учётом все более жестких требований по обеспечению качества, надёжности и долговечности этих конструкций, к ним также предъявляются повышенные требования по обеспечению необходимых потребительских свойств. При этом колоссальное влияние на происходящие процессы оказывает зачастую то, что возведение этих объектов обусловлено стесненными условиями плотной городской застройки, ведение работ в сложной пересеченной местности, другие технологические и производственные факторы. Без применения современных актуальных решений достаточно сложно при условии соблюдения описанных выше условий обеспечить главный критерий, по которому оценивается степень готовности объекта и «зрелости» подрядной организации, качество и обеспечение требуемых потребительских свойств возводимых новых, реконструируемых и ремонтируемых действующих объектов потребовало современных подходов к разработке эффективных технологий возведения объектов, а также проведения ремонтных работ на базе использования современных материалов, удовлетворяющих запросам заказчиков и требованиям эксплуатации различных видов сооружений.

В советское время и период раннего становления капиталистического общества в нашей стране (в начале и середине 90-х годов прошлого века) многие транспортные сооружения, спроектированные по типовым проектам, возводились чаще всего с применением унифицированных технологических карт, а при использовании сборного железобетона вопросы обеспечения качества возводимых конструкций зачастую сводились к четкому соответствию требованиям действующей на тот момент нормативной документации (при её наличии) и утвержденным типовым технологическим картам на производство работ. Широкое же применение монолитного железобетона, постепенно заменившего собой сборный на рубеже веков и окончательно пришедший ему на смену в наши дни (в части возведения объектов транспортной инфраструктуры), потребовало принятия зачастую новых технологических решений, связанных в первую очередь с воплощением различных архитектурных и конструктивных нововведений, но, как следствие, с учетом свойств бетона как строительного материала, который, как известно, имеет ряд специфических особенностей. Этот фактор потребовал привлечения к строительству различных научно-исследовательских объединений и институтов, призванных оперативно решать возникающие вопросы и проблемы с целью обеспечения требуемого качества, надежности, долговечности конструкций, их экологичности и экономической целесообразности возведения.

В настоящей работе поставлена цель обобщить и систематизировать наиболее доступные, часто применяемые и несложные методы и приемы ведения бетонных и железобетонных работ, направленные на минимизацию образования дефектов и трещин, улучшение потребительских свойств объектов транспортной инфраструктуры, с достаточной легкостью реализуемые при проектировании и строительстве указанных сооружений.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Исследованиями установлено, что при возведении транспортных сооружений существует большая вероятность образования температурных трещин в период разогрева бетона ввиду разных скоростей набора температур маломассивных и массивных частей конструкции. А при остывании возможно возникновение продольных и косых трещин за счёт перепадов температур по сечению конструкций, а также вследствие снижения температур с разной скоростью в массивных и маломассивных частях конструкции. В связи с этим вопросом трещинообразования, нарушающего сплошность бетона и ведущего к ускоренной коррозии арматуры, следует уделять большое внимание. Поэтому при возведении крупноразмерных конструкций из монолитного бетона (тоннелей, мостов, путепроводов и прочих сооружений) в процессе проектирования в первую очередь видится целесообразным решение вопроса локализации влияния колебаний температуры на свойства бетона как в процессе твердения, так и в процессе эксплуатации объекта. Опыт возведения транспортных объектов показал, что для предупреждения трещинообразования руководствоваться исключительно нормами действующих нормативных

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

документов не всегда достаточно. Например, согласно действующим нормативным документам для обеспечения трещиностойкости в монолитных сооружениях необходимо на расстоянии не более 40 м устраивать постоянные температурно-осадочные деформационные швы. В то же время в нормативных документах и в проектной документации на строительство тоннелей, мостов, путепроводов и прочих сооружений не находят достаточного отражения вопросы, связанные с влиянием температурного режима твердеющего бетона на его трещиностойкость на стадии возведения конструкции, что зачастую приводит к появлению многочисленных трещин, на устранение которых затрачиваются значительные финансовые и людские средства. В каждом конкретном случае необходимо проведение дополнительных исследований, которые направлены на предотвращение трещинообразования, возникающего от воздействия температурного фактора и необходимых для составления обоснованных нормативных документов и проектов производства работ.

Наиболее полно требования по оптимизации и учёту температурного фактора обобщены для объектов гидротехнического строительства [1, 2], а также для условий сооружения цементно-бетонных покрытий дорог и аэродромов [3]. Применительно же к возведению тоннелей, мостов, путепроводов проблема впервые была решена представителями школы профессора А.Р. Соловьянчика [4, 5], которыми был создан целенаправленный пакет прикладных программ расчета температурных полей, термических напряжений и роста прочности бетона[1, 2], давший возможность учитывать реальные теплофизические и термодинамические характеристики бетона и его состав, условия теплообмена с окружающей средой, виды применяемого опалубочного оборудования, а также многие иные ранее не учтенные моменты и разрабатывать принципы снижения вероятности трещинообразования на стадии возведения сооружений [6, 7]. Кроме того, в отличие от принципов расчета термонапряженного состояния в гидротехническом и дорожном строительстве был обоснован важный показатель в оценке термонапряженного состояния транспортных сооружений, а именно было показано, что отправным моментом при определении степени влияния температуры на качество конструкции должен служить анализ температурного поля нулевых напряжений, формирующихся к моменту образования в твердеющем цементном камне пространственной кристаллизационной структуры из гидросиликатов кальция, за которое принимается время перехода бетона в упругое состояние, характеризуемое прочностью на сжатие в пределах 25–30% от прочности в возрасте 28 суток [8, 9, 10].

Для выбора способа управления тепловым режимом бетона по проектным решениям конкретного сооружения выделяются конструктивные узлы, в которых возможны высокие концентраторы температурных напряжений, определяется конструкция опалубочных щитов для этих узлов, завод-поставщик цемента в регион строительства рассматриваемого объекта и учитывается состав бетонной смеси для обеспечения класса бетона, заложенного в проекте. Далее на основе проектной документации и полученной исходной информации по программному комплексу производится расчет изменения температур и роста прочности бетона с оценкой возникающих при этом температурных деформаций. На основе полученного расчетного материала делается вывод о необходимости применения конкретного способа управления температурным режимом бетона и, как следствие, качеством всего строительного процесса, а также определяются параметры этого способа [11, 12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Первый важный проблемный вопрос, который был решен с помощью программ расчета температурных полей, был связан с необходимостью строительства в назначаемые сжатые сроки таких протяженных конструкций, как тоннели (в особенности рамповые участки на въездах и выездах) [14, 15, 16]. Конструктивно-технологический узел, в котором, как правило, возникает высокая вероятность образования температурных трещин, связан с

[1] Соловьянчик А.Р. [и др.]. Разработка новой методики исследования температурного режима, прочности твердеющего бетона и термонапряженного состояния конструкций транспортных сооружений с помощью персональных компьютеров. М. : ЦНИИС, 1992. 70 с.

[2] Соловьянчик А.Р. [и др.]. Разработка новой методики исследования температурного режима, прочности твердеющего бетона и термонапряженного состояния конструкций транспортных сооружений с помощью персональных компьютеров. М. : ЦНИИС, 1992. 70 с.

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

этапностью выполнения бетонных работ и относится к зоне сопряжения затвердевшего и вновь укладываемого бетона. В этой зоне в процессе твердения уложенного бетона образуется его «защемление» бетоном ранее возведенной части сооружения и оно препятствует проявлению свободных деформаций на стадии остывания конструкции. Стремление бетонировать тоннельные сооружения крупноразмерными захватками без разбивки на блоки бетонирования с целью сокращения сроков работ и уменьшения числа рабочих швов потребовало всесторонней оценки температурных режимов твердения бетона и указало на необходимость учета «защемления» бетонируемых блоков в зоне контакта с ранее возведенными элементами конструкции, например при бетонировании стен после устройства днища. Было установлено, что для предупреждения появления температурных трещин размер блока бетонирования в этих случаях не должен превышать 15–17 м, если в момент замыкания шва разность температур между наиболее разогретой частью конструкции и температурой в зоне замыкания шва составляет не более 20 °С (рисунок 1).

Расчеты, выполненные посредством расчётного комплекса, позволили определить режимы дополнительного отогрева ранее забетонированных элементов, способствующих уменьшению разности температур между рассматриваемыми зонами конструкции и увеличению размеров блоков бетонирования до значения 20–21 м. Опыт реализации на практике режимов дополнительного отогрева ранее возведенных элементов показал, что для локального подвода тепловой энергии к бетону предпочтительнее использовать нагревательный провод, установка которого в зоне сопряжения стен с днищем позволяет бетонировать участки стен захватками длиной до 30 м.

Для ускорения строительства тоннельных сооружений также были разработаны условия их возведения блоками длиной 30 м с устройством между ними технологического (рабочего) шва шириной 1,5–2,0 м. При этом правильность расчетных предпосылок подтвердилась отсутствием трещин в построенных блоках днища и стен конструкций.

В ряде случаев (в силу проектных решений) возникает необходимость бетонировать за один прием участки тоннеля длиной более 40 м.

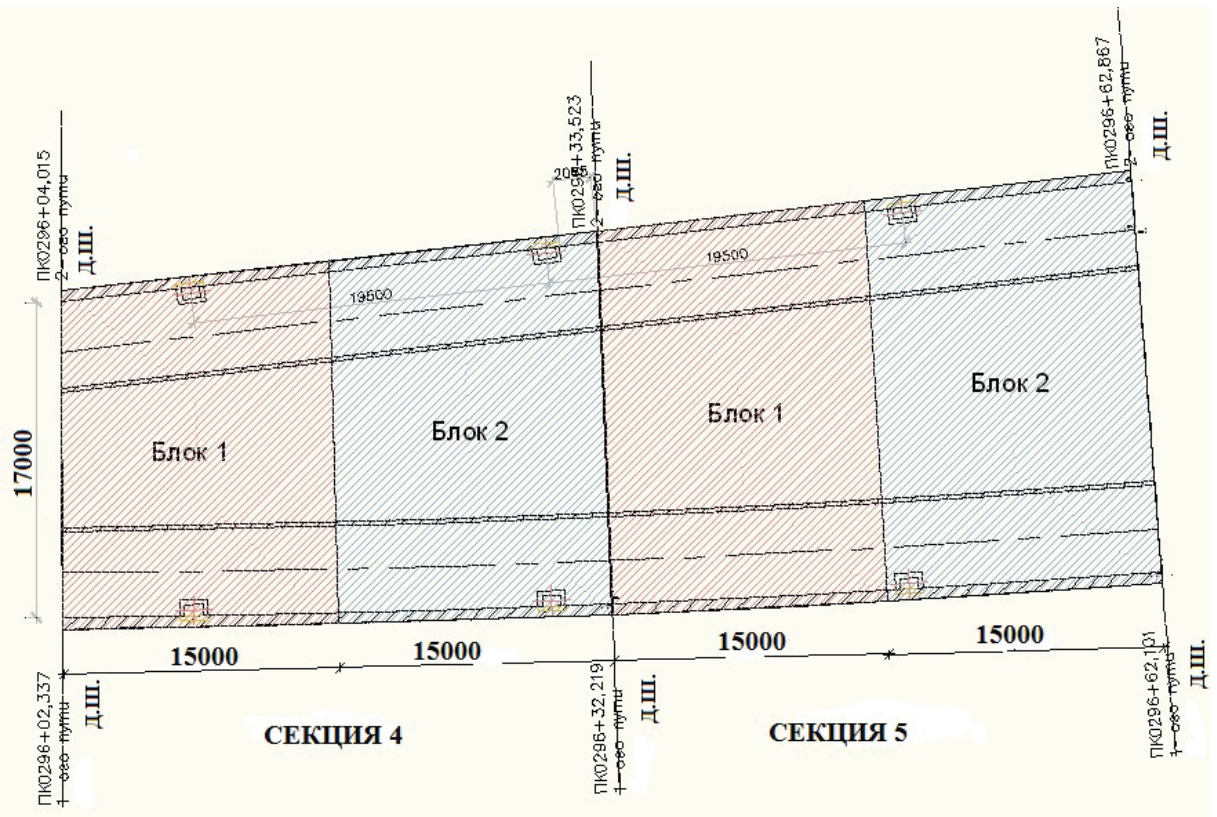

Рисунок 1 – Эскизная схема разбивки днища тоннеля на блоки бетонирования по длине

Figure 1 – Schematic diagram of the splitting of the tunnel bottom into the concrete blocks

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

На основании проведенных исследований был разработан ряд технологических приемов, включающий послойную укладку в опалубку сначала бетонной смеси с температурой 20–25 оС, а затем с температурой 6–10 оС. Такой способ бетонирования позволил снизить в два раза разность температур между максимально разогретым ядром и минимально разогретой окраиной конструкции, обеспечить высокую однородность температурного поля и в комплексе с неполным по отношению к проектному обжатию бетона успешно решить поставленную задачу. Для ускорения сроков устройства перекрытий разработана технология бетонирования блоков стен и перекрытий длиной до 38 м за один прием. Технологией предусматривается комплексный отогрев бетона свай до заданной температуры как перед укладкой бетона, так и при его выдерживании, в том числе с использованием специального приема, позволяющего направить тепло гидратации цемента в зону отогреваемых свай. Температурные поля в зоне сопряжения стен и перекрытия с основанием из свай при предложенном способе в сравнении с традиционным показывают на уменьшение величины температурных перепадов и в момент формирования температурного поля нулевых напряжений, и в период максимального разогрева бетона, что позволяет возвести тоннель без трещин, а сроки строительства сократить в 1,5 раза за счет укрупнения бетонируемых захваток, снижения трудоемкости работ и уменьшения количества технологических швов. Другим примером совершенствования технологии возведения конструктивных элементов тоннельных сооружений, апробированных на практике, можно считать технологию возведения днища (лотка) тоннеля одновременно с технологическими выступами («пеньками») стен на высоту 0,6–0,8 м (рисунок 2). Образование таких «пеньков» упрощает отогрев основания перед бетонированием стен в холодный период года, а также создает предпосылки для бетонирования стен тоннеля более длинными блоками.

При строительстве туннельно-эстакадных участков может использоваться еще один метод реализации усовершенствованной технологии, так называемый «миланский способ», при котором вначале возводится перекрытие тоннеля, а впоследствии днище и стены.

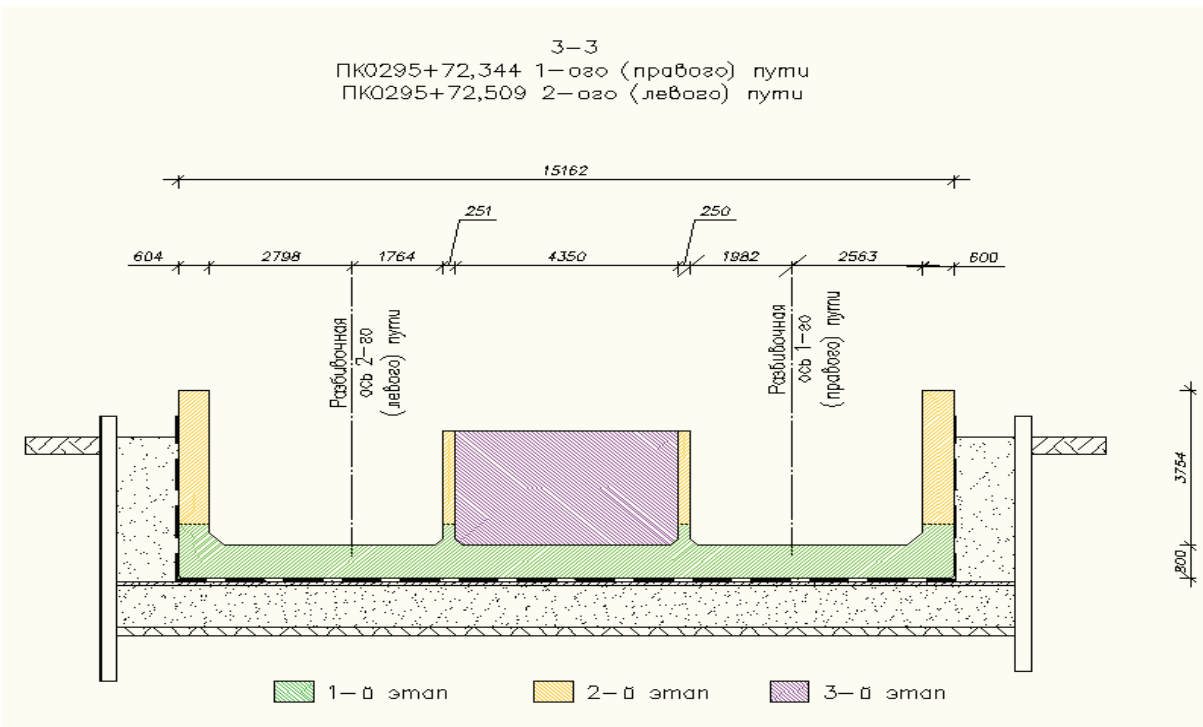

Рисунок 2 – Эскизная схема разбивки днища тоннеля на захватки бетонирования с технологическим выступом

Figure 2 – Schematic diagram of the splitting of the tunnel bottom into the concreting capture with technological protrusion

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

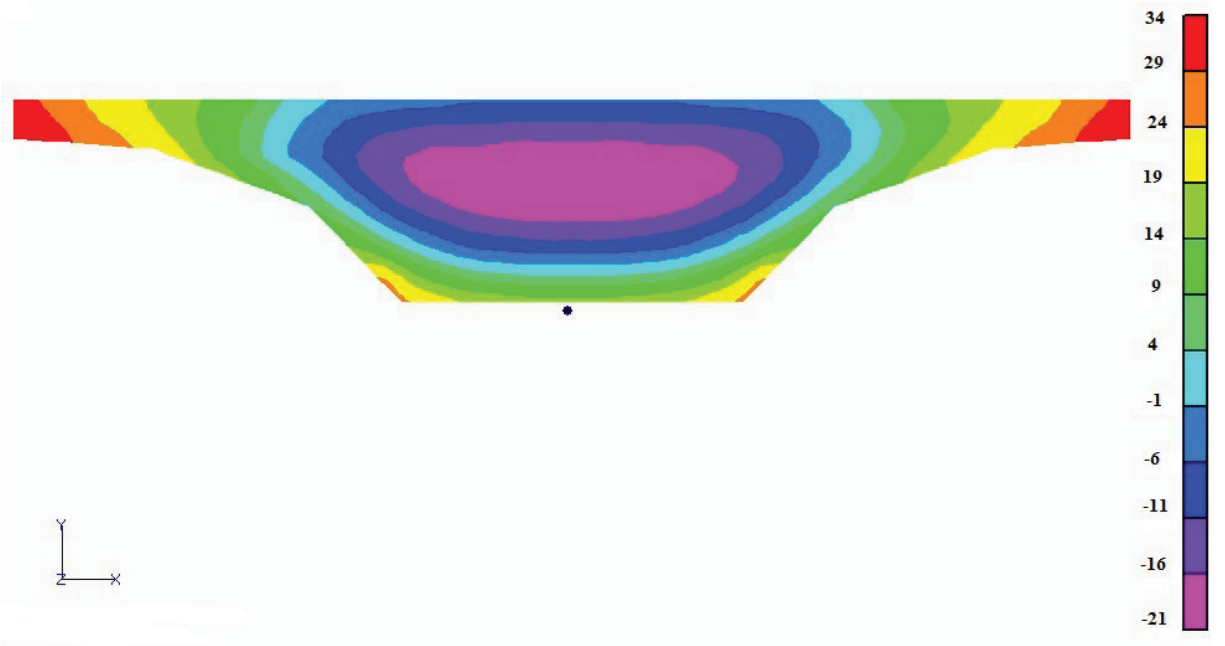

Рисунок 3 – Распределение температурных напряжений в пролетном строении без применения специальных мер по выравниванию температур в бетоне

Figure 3 – Distribution of temperature stresses in the structure without the use of special measures for equalizing the concrete's temperatures

Применение такого способа возведения особенно эффективно в условиях плотной городской застройки, так как наличие перекрытия помогает защитить близлежащие жилые и общественные постройки от шума и грязи при выполнении строительных работ. При возведении тоннельных сооружений «миланским способом» перекрытие опирается и «защемляется» в ограждение из буросекущих свай. При наличии такого «защемления» для локализации проявления температурных напряжений в случае ведения работ традиционными способами возникает необходимость бетонирования верхней части стен и перекрытия блоками длиной не более 15–16 м.

Второй вид сооружений, для которых потребовалось разработать условия, исключающие трещинообразование в конструкции, включает плитно-ребристые пролетные строения мостовых переходов и эстакад с массивными несущими ребрами, маломассивными консолями и центральной межреберной частью. Исследования в этом случае показали, что в массивном ребре уже на стадии разогрева бетона от экзотермии цемента могут возникать деформации, вызывающие появление температурных трещин (рисунок 3).

Причина этого заключается в том, что бетон в периферийных слоях, охлаждаясь за счет контакта с окружающей средой, деформируется относительно незначительно, в то время как бетон в ядре, разогреваясь до высоких температур, претерпевает более весомые температурные деформации, которые приводят в конечном итоге к разрыву наружных поверхностных слоев, не имеющих еще достаточной прочности на растяжение. Поэтому для разработки методов предупреждения появления температурных трещин на стадии разогрева необходимо детально анализировать величину температурных деформаций в различных сечениях конструкции и проектировать состав бетона с минимальным количеством цемента на кубометр бетонной смеси. Анализ развития температур в процессе выдерживания бетона в плитно-ребристых пролётных конструкциях показал, что за счет более интенсивного разогрева ребра темп твердения бетона в нем более высокий, чем в консоли и на определенной стадии выдерживания бетона консоль становится условно защемленной в ребро. Перепад температур при этом довольно существенен, и может привести к образованию поперечных трещин в консоли.

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Рисунок 4 – Схема устройства дополнительной тепловой изоляции плиты пролётного строения в технологическом укрытии

Figure 4 – Scheme of additional thermal insulation of the structure plate in the technological shelter

Проведенный поиск вариантов выравнивания температур по сечению конструкций с разномассивными зонами показал, что наиболее эффективным способом предупреждения трещинообразования является укрытие консоли более мощной тепловой изоляцией и дополнительного утепления опалубки консоли снизу с устройством дополнительного укрытия в виде полога снизу, позволяющего перераспределять тепловую энергию между ребрами и консолью пролётного строения (рисунок 4).

Температурное поле при выполнении данного комплекса мероприятий оказалось в достаточной степени равномерным, что позволило впервые в практике мостостроения обеспечить бездефектное бетонирование за один прием пролетного строения длиной 179 м. Исследования также показали, что в условиях ведения работ в тёплый период года герметичное закрепление сверху маломассивных консолей светопрозрачных покрытий с заданным термическим сопротивлением вместо устройства дополнительной тепловой изоляции гарантирует не только сохранность тепла, но и дополнительный разогрев бетона консоли солнечным радиационным потоком, еще в большей степени снижающим вероятность образования температурных трещин [17, 18, 19, 20].

Известно, что монолитный бетон также широко применяется при возведении ростверков, устоев и опор мостов, и, несмотря на то, что в настоящее время в нашей стране накоплен большой опыт обеспечения высокого качества бетонных работ, периодически возникает ряд вопросов обеспечения потребительских свойств бетона, требующих грамотного решения [21, 22, 23, 24]. В частности, в последние годы возводится большое количество ростверков внушительных размеров, например при строительстве мостов через р. Москву, Оку, Крымского моста. Имеющийся опыт возведения подобных крупноразмерных железобетонных конструкций и теплофизические расчеты показывают, что для обеспечения необходимой трещиностойкости бетона и предупреждения появления температурных трещин, возникающих при разогреве бетона от экзотермии цемента и последующем его остывании, требуется разбивка массивных конструктивных элементов на захватки по высоте и на блоки бетонирования в плане, а также постановка дополнительной тепловой изоляции в местах наибольшего перепада температур по сечению конструкции (рисунок 5).

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

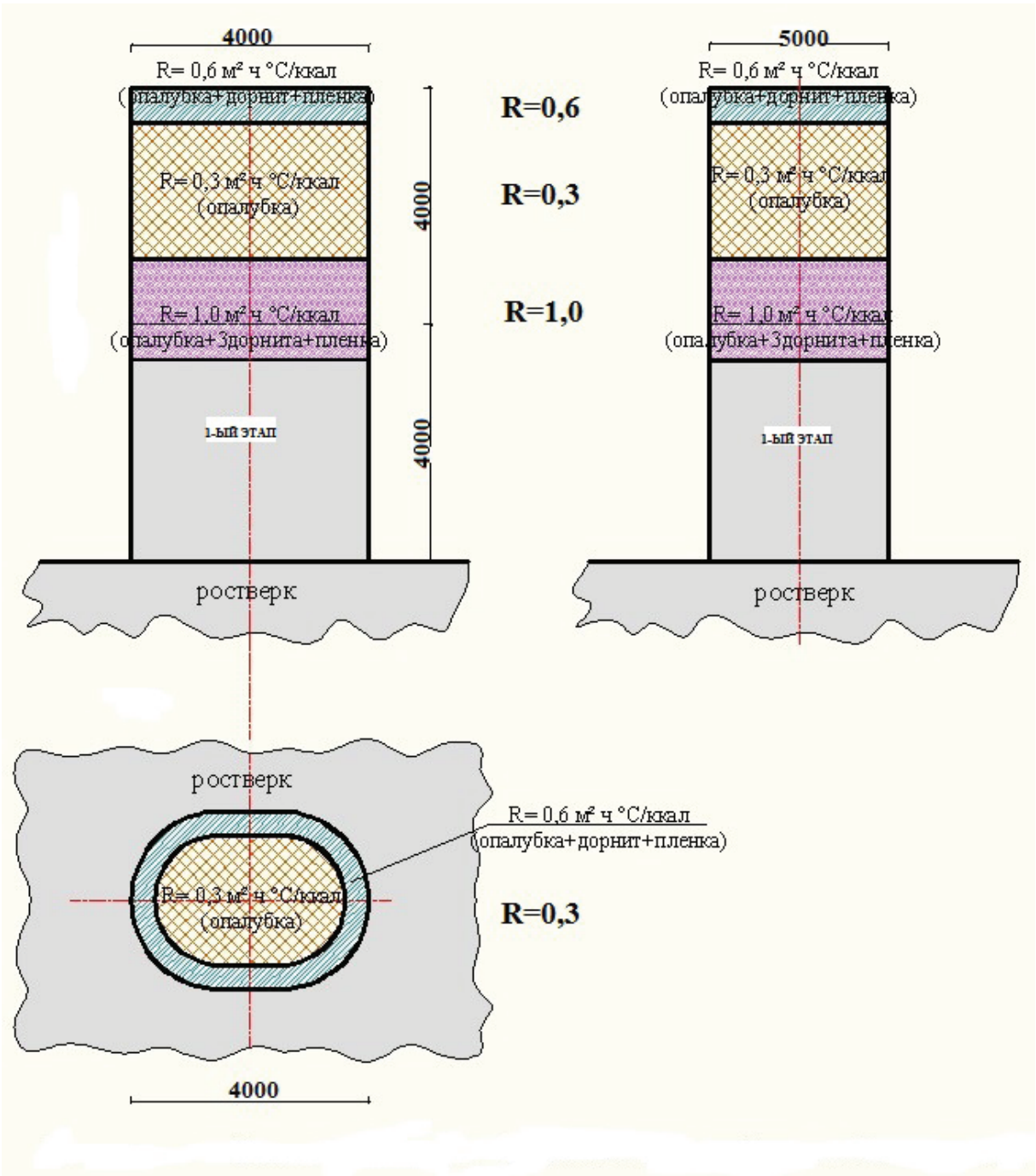

Рисунок 5 – Схема разбивки стойки опоры Крымского моста на блоки бетонирования и её укрытия дополнительной тепловой изоляцией

Figure 5 – Splitting scheme of the Crimean bridge support into the concreting blocks and of its shelter with additional thermal insulation

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

При выборе способов управления температурным режимом твердеющего бетона в случае возведения высоких (более 5 м) стоек опор за один прием в холодный период года следует отметить о необходимости устройства в тепляках отсекающих диафрагм с перепускными клапанами, позволяющих регулировать теплопоступления в верхние зоны стоек и предотвращать тем самым перегрев бетона.

Обеспечение требуемого качества возводимых новых, реконструируемых и ремонтируемых действующих объектов требует современных подходов к разработке эффективных технологий не только проектирования и строительства, но проведения ремонтных работ на базе использования современных материалов, удовлетворяющих требованиям эксплуатации различных видов транспортных сооружений. Ремонтные работы, как правило, выполняются как на стадии возведения объектов, так и при их эксплуатации. В период возведения конструкций обычно осуществляется устранение дефектов, допущенных во время строительства, и лечение различных трещин. В период эксплуатации проводятся различные виды ремонтов, в том числе связанные с восстановлением и увеличением несущей способности отдельных возводимых конструкций или всего сооружения в целом. Во всех случаях ремонт должен быть выполнен своевременно, качественно, обеспечивая требуемую долговечность и продолжительность межремонтных сроков конструкции. Качество работ по ремонту железобетонных конструкций зависит от правильной организации работ по проведению ремонта, обоснованного выбора ремонтных материалов и применения современных технологий, апробированных на практике. Все перечисленные вопросы должны находить отражение в разрабатываемых нормативно-технических документах на выполнение ремонтных работ, а наличие пробелов в правилах технического нормирования по проектированию и выполнению строительно-монтажных и ремонтных работ, к сожалению, часто приводит к тому, что на строительную площадку попадают материалы низкого качества, а ремонтные работы выполняются на невысоком уровне. С целью систематизации вопросов, связанных с необходимостью полного отражения требований к проведению ремонтных работ на транспортных объектах, было разработано Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов[3], выдержавшее несколько переизданий.

Главной задачей при выполнении ремонтных работ является правильный выбор ремонтного материала (на основании технико-экономического обоснования и с учетом требований, обеспечивающих заданные условия эксплуатации и продолжительность межремонтных сроков). Однако достаточно часто выбор материала определяется исключительно финансовыми возможностями заказчика, а также с учетом элементов риска, связанного с недостаточным знанием условий последующей эксплуатации объектов и фактических технических характеристик новых материалов. Для эффективного ремонта конструкций из бетона и железобетона и подбора необходимых материалов, обеспечивающих качество конструкции, необходимо иметь определенную концепцию и четко установленную последовательность выполнения работ, позволяющую обосновать правильность выбора материала, планируемого к использованию при ремонте конструкций. На практике обычно ремонт конструкций проводится с применением материалов, подобных исходному материалу ремонтируемой конструкции. При его выборе необходимо соблюдать данное правило и требования по совместимости материалов, вследствие того что одинаковые материалы по ряду признаков могут быть несовместимыми. Совместимость материалов подразумевает характер их поведения как в незатвердевшем, так и в затвердевшем состоянии. Она базируется на физических основах взаимодействия ремонтируемого и ремонтного материалов. Выбор материала – это процесс компромисса, основанного на достоверной информации, и материалы, о которых нет полной и точной информации, не должны допускаться в производство. При выборе ремонтных материалов требуется соблюдать четкие принципы совместимости свойств ремонтных и существующих материалов. При выборе ремонтного материала подлежат учету: степень ответственности конструкций; глубина поражения / разрушения; планируемые условия эксплуатации (в первую очередь температурный режим); влажность и

[3] Руководство по ремонту бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений с учетом обеспечения совместимости материалов. М. : ЦНИИС, 2010. 182 с.

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

агрессивность среды эксплуатации, динамичные воздействия; эстетические требования; положение и доступность ремонтируемой конструкции; объем работ, подлежащих выполнению (рисунок 6).

На выбор материалов напрямую влияет вид проводимого ремонта; глубина разрушений; условия эксплуатации; а также тип ремонта: текущий ремонт конструкций, не требующий восстановления их несущей способности; ремонт конструкций с восстановлением их несущей способности; ремонт конструкций с увеличением их несущей способности по отношению к несущей способности, заложенной в первоначальном проекте сооружения. На выбор материала могут повлиять и многочисленные другие факторы, включая такие как продолжительность времени, необходимого для передачи эксплуатационной нагрузки на отремонтированную конструкцию, имеющееся в наличии рабочее время для проведения работ, скорость набора прочности ремонтным материалом при твердении и другие факторы. При выборе материалов следует принимать во внимание, что находящиеся на рынке материалы очень часто изменяются по множеству причин, в том числе в связи с заменой исходных сырьевых материалов, экологических норм и внедрения новых передовых технологий. Как следствие, происходит изменение физико-технических свойств этих материалов. Для подтверждения возможности использования таких материалов рекомендуется производить независимые испытания ремонтных материалов, особенно в тех случаях, когда при ремонте отдают приоритет надежности и долговечности конструкции.

Особого внимания заслуживает вопрос устранения трещин в бетонных и железобетонных конструкциях, которые подразделяют на активные и неактивные. Активные трещины изменяют ширину раскрытия под воздействием прилагаемой нагрузки и изменений температуры.

Рисунок 6 – Процесс подготовки опоры эстакады к производству ремонтных работ

Figure 6 – Process of preparing the overpass support to repair

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Неактивные трещины не изменяют ширины раскрытия при внешних воздействиях. Кроме того, активные («дышащие») трещины могут превращаться в неактивные посредством соответствующего усиления конструкции, восстанавливающего её сплошность. Одним из эффективных вариантов ремонта активных трещин можно считать метод наполнения их мастиками или эластичными эпоксидными смолами, не подверженными разрывным нагрузочным усилиям при изменении их раскрытия. Для устранения активных трещин в мостовых и тоннельных конструкциях в последние годы нашли широкое применение эластичные эпоксидные смолы, внедрение которых оказалось наиболее целесообразным в условиях повышенной влажности и силу присутствия грунтовых вод. Неактивные трещины герметизируют путём инъецирования в них состава, склеивающегося с бетоном, но не способного предотвратить изменения раскрытия при внешних воздействиях. Для герметизации волосяных трещин используют хрупкие и эластичные защитные покрытия, создающие пленку на поверхности бетона. В последние годы для ремонтных работ все более широкое применение находят сухие бетонные смеси, не требующие дозирования компонентов на месте производства работ. Для упрочнения материалов, повышения их водонепроницаемости, сопротивляемости воздействию агрессивных сред и повышения морозостойкости бетона используют кольматирующие материалы. Такие материалы также рекомендуются при проведении инъекционных работ.

Подводя итог, следует отметить, что только при правильном комплексном подходе к назначению ремонта железобетонных конструктивных элементов транспортных сооружений и научно обоснованном выборе технологий и материалов для ремонта можно обеспечить высокое качество работ и существенно продлить жизнь ремонтируемых конструкций при достаточно обоснованных экономических затратах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные мероприятия, описанные в настоящей статье, были успешно реализованы при строительстве транспортных объектов в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи и других крупных городах, в Подмосковье, Крыму (рисунок 7) и других регионах нашей страны, показали свою состоятельность и востребованность, позволили избежать массового образования температурных трещин в возводимых конструкциях, сократить сроки строительства объектов при неукоснительном соблюдении стандартов качества строительных работ. Однако в настоящей статье перечислены далеко не все способы управления температурным режимом твердеющего бетона, которые были предложены представителями школы профессора А.Р. Соловьянчика с целью решения многочисленных проблем, возникающих в бетоне как материале.

Но в целом видно, что температурный фактор оказывает существенное влияние на качество бетонных работ и в настоящий момент существует реальная возможность уменьшить это влияние несколькими способами, среди которых:

− использование низкотермичных цементов для бетонирования массивных бетонных конструкций (однако в настоящее время этот вопрос трудно разрешим в связи с отсутствием массового производства таких цементов в Российской Федерации);

− обеспечение снижения расхода цемента на 1 м^3 бетонной смеси. Этот вопрос можно решить на основе массового использования химических добавок нового поколения на базе поликарбоксилатов и применения модифицированных бетонов. Исследования также показали, что использование таких добавок позволяет существенно снизить расход цемента на 1 м^3 бетона при обеспечении требуемой высокой прочности, водонепроницаемости и морозостойкости. Применение химических добавок и получение на их основе все более распространенных в нашей стране самоуплотняющихся бетонных смесей позволяет решить еще одну проблему, связанную с уплотнением бетона при возведении высоких опор, густоармированных конструкций различного типа, тонкостенных конструкций и прочих сооружений. Кроме того, в настоящее время имеется ряд материалов и смесей, которые успешно прошли испытания и используются при строительстве ряда объектов, но которые ждут своего признания в широком кругу строителей и более широкого применения на практике.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренные примеры регулирования температурного режима твердеющего бетона далеко не в полной мере отражают те вопросы и проблемы, которые в настоящее время стоят перед строителями на строительной площадке и перед научными работниками в научных организациях, однако накопленный опыт и имеющиеся знания неукоснительно подводят

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Рисунок 7 – Крымский мост

Figure 7 – Crimean bridge

к выводу о том, что грамотное и обоснованное применение научно-технического сопровождения ведения бетонных работ в купе с применением современных строительных материалов и систем позволяют в должной мере обеспечить требуемые стандарты качества при проведении бетонных работ на строительной площадке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов В.К. Регулирование температурного режима бетона при сооружении плотин. Л.-М.: Энергия, 1964. 168 с.

2. Фрид С.А., Левених Д.П. Температурные воздействия на гидротехнические сооружения в условиях севера. Л.: Стройиздат, 1978. 202 с.

3. Горицкий Л.И. Теория и расчет цементно-бетонных покрытий на температурные воздействия. М.: Транспорт, 1965. 284 с.

4. Петров-Денисов В.Г., Гордеева В.Н., Шифрин С.А., Ли А.И. Численное моделирование теплообмена при тепловой обработке изделий на электростендет // Научно-технический журнал «Бетон и железобетон». № 1. М.: 1992. С. 45–51.

5. Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А. Управление термонапряженным состоянием монолитных железобетонных конструкций при скоростном круглогодичном строительстве транспортных сооружений // Научные труды ОАО ЦНИИС, № 203. М.: ЦНИИС, 2000. С. 25–32.

6. Тарасов А.М., Бобров Ф.Ю., Пряхин Д.В. Применение физического моделирования при строительстве мостов и других сооружений // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». № 1. М.: 2007. С. 21–26.

7. Пряхин Д.В. Исследование работы вантового пролётного строения моста методами физического моделирования // Научно-технический журнал «Транспортное строительство». № 10. М.: 2009. С. 11–13.

8. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Физические основы прогнозирования собственно-

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

го термонапряжённого состояния бетонных и железобетонных конструкций // Сборник научных трудов ЦНИИС, №73. М.: ЦНИИС, 1972. С. 36–42.

9. Соловьянчик А.Р., Смирнов Н.В., Ильин А.А. Определение модуля упругости бетона в раннем возрасте и особенности его учета при расчетах термонапряженного состояния конструкций // Научные труды ОАО ЦНИИС, № 225. М.: ЦНИИС, 2004. С. 27–32.

10.Шифрин С. А. Современная дифференциальная калориметрическая установка ЦНИИС для исследования тепловыделения модифицированных бетонов // Научно-технический журнал «Приборы», № 5. М.: 2007. С. 18–22.

11.Заседателев И.Б., Шифрин С.А., Ткачев А.В. Особенности термообработки тонкостенных изделий в гелиоформах // Научно-технический журнал «Бетон и железобетон». № 1. М.: 1986. С. 7–12.

12.Пуляев И.С., Дудаева А.Н. Исследование температурного режима твердеющего бетона верхних ярусов верхней части пилонов при строительстве моста через р. Оку на обходе г. Мурома. // Научные труды ОАО ЦНИИС «Испытания и расчёты конструкций транспортных сооружений», № 251. М.: ЦНИИС, 2009. С. 45–52.

13.Соколов С.Б. Влияние колебаний температуры воздуха в тепляках на температуру твердеющего бетона при возведении монолитных плитно-ребристых пролётных строений в холодный период года // Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам», № 213. М.: ЦНИИС, 2002. С. 167–172.

14.Соловьянчик А.Р., Коротин В.Н., Шифрин С.А., Вейцман С.Г. Опыт снижения трещинообразования в бетоне от температурных воздействий при сооружении Гагаринского тоннеля // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». № 3–4. М.: 2002. С. 53–59.

15.Гинзбург А.В. Обеспечение высокого качества и эффективности работ при возведении тоннелей из монолитного бетона // Научно-технический журнал «Вестник МГСУ». № 1. М.: 2014. С. 98–110.

16.Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А., Коротин В.Н., Вейцман С.Г. Реализация концепции «качество» при сооружении Гагаринского тоннеля в г. Москве // Научные труды ОАО ЦНИИС «Технологии и качество возводимых конструкций из монолитного бетона», № 217. М.: ЦНИИС, 2003. С. 206–212.

17.Командровский А.Ф. Опыт сооружения пролётных строений из монолитного преднапряженного железобетона // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». № 3–4. М.: 2003. С. 24–29.

18.Васильев А.И., Вейцман С.Г. Современные тенденции и проблемы отечественного мостостроения // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». № 1. М.: 2015. С. 2–17.

19.Космин В.В., Мозалев С.В. Проблемы исследований, проектирования и строительства мостов больших пролётов // Научно-технический журнал «Вестник мостостроения». № 1. М.: 2014. С. 19–24.

20.Балючик Э.А., Черный К.Д. Повышение трещиностойкости опор мостов из монолитного бетона конструктивными методами // Сборник научных трудов ЦНИИС, № 257. М.: ЦНИИС, 2010. С. 49–57.

21.Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А., Ильин А.А., Соколов С.Б. Выбор технологических параметров производства бетонных работ при возведении массивных ростверков и опор арочного пилона вантового моста через р. Москву // Научные труды ОАО ЦНИИС «Исследование транспортных сооружений», № 230. М.: ЦНИИС, 2006. С. 24–30.

22.Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А., Коротин В.Н., Вейцман С.А. Опыт использования неполного обжатия бетона для предупреждения появления трещин в конструктивных элементах транспортных сооружений // Научные труды ОАО ЦНИИС «Технология и качество возводимых конструкций из монолитного бетона», № 217. М.: ЦНИИС, 2003. С. 200–205.

23.Балючик Э.А., Величко В.П., Черный К.Д. Изготовление блоков облицовки в зимний период строительства моста через р. Ангару // Научно-технический журнал «Транспортное строительство». № 10. М.: 2012. С. 4–7.

24.Величко В.П., Черный К.Д. Учет напряженно-деформированного состояния в сборно-монолитных опорах мостов на стадии их сооружения // Научно-технический журнал «Транспортное строительство». № 2. М.: 2013. С. 11–13.

REFERENCES

1. Frolov V.K. *Regulirovanie temperaturnogo rezhima betona pri sooruzhenii plotin* [Regulation of the temperature regime of concrete in the construction of dams]. L. –M.: Energy, 1964: 168 p.

2. Frid S.A., Lövenich, D.P. *Temperaturnye vozdejstviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya v usloviyah severa* [Temperature effects on hydraulic structures in the North]. Leningrad: Stroyizdat, 1978. 202 p.

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

3. Goritskii L.I. *Teoriya i raschet cementno-betonnyh pokrytij na temperaturnye vozdejstviya* [Theory and design of cement concrete pavement to the temperature effect]. M.: Transport, 1965. 284 p.

4. Petrov-Denisov V.G., Gordeeva V. N., Shifrin S. A., Li A. I. Chislennoe modelirovanie teploobmena pri teplovoj obrabotke izdelij na elektrostende [Numerical simulation of heat transfer during heat treatment of products on the electric stand]. Scientific and technical journal *Beton i zhelezobeton,* no 1. M.: 1992. pp. 45-51.

5. Solov'yanchik A.R., Shifrin S.A. Upravlenie termonapryazhennym sostoyaniem monolitnyh zhelezobetonnyh konstrukcij pri skorostnom kruglogodichnom stroitel'stve transportnyh sooruzhenij [Management of thermally stressed state of monolithic reinforced concrete structures in high-speed year-round construction of transport facilities]. *Nauchnyye trudy OAO TSNIIS*. 2000; 203: 25–32.

6. Tarasov A.M., Bobrov F.YU., Pryakhin D.V. Primeneniye fizicheskogo modelirovaniya pri stroitel'stve mostov i drugikh sooruzheniy [Application of physical modeling in the construction of bridges and other structures]. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal *Vestnik mostostroyeniya*. 2007; 1: 21–26.

7. Pryakhin D.V. Issledovaniye raboty vantovogo prolotnogo stroyeniya mosta metodami fizicheskogo modelirovaniya [Investigation of the cable-stayed bridge structure using physical modeling methods]. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal *Transportnoye stroitel'stvo*. 2009; 10: 11–13.

8. Luk'yanov V.S., Solov'yanchik A.R. Fizicheskiye osnovy prognozirovaniya sobstvennogo termonapryazhonnogo sostoyaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsiy [Physical basis for predicting the intrinsic thermo-stress state of concrete and reinforced concrete structures]. *Sbornik nauchnykh trudov TSNIIS*. 1972; 73: 36–42.

9. Solov'yanchik A.R., Smirnov N.V., Il'in A.A. Opredelenie modulya uprugosti betona v rannem vozraste i osobennosti ego ucheta pri raschetah termonapryazhennogo sostoyaniya konstrukcij [Determination of the modulus of elasticity of concrete at an early age and features of its account in the calculations of the thermally stressed state of structures]. *Nauchnyye trudy OAO TSNIIS*. 2004; 204: 27–32.

10. Shifrin S.A. Sovremennaya differencial'naya kalorimetricheskaya ustanovka CNIIS dlya issledovaniya teplovydeleniya modificirovannyh betonov [Modern differential calorimetric unit TsNIIS for the study of heat generation of modified concrete]. *Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Pribory».* 2007; 5: 18–22.

11. Zasedatelev I.B., SHifrin S.A., Tkachev A.V. Osobennosti termoobrabotki tonkostennyh izdelij v gelioformah. [Peculiarities of heat treatment of thin-walled products in helioform]. *Scientific and technical journal Beton i zhelezobeton.* 1986; 1: 7–12.

12. Pulyayev I.S., Dudayeva A.N. Issledovaniye temperaturnogo rezhima tverdeyushchego betona verkhnikh yarusov verkhney chasti pilonov pri stroitel'stve mosta cherez r. Oku na obkhode g. Muroma [Investigation of the temperature regime of hardening concrete of the upper layers of the upper part of the pylons during the construction of the bridge over the Oka River on the bypass of the city of Murom]. *Nauchnyye trudy OAO TSNIIS «Ispytaniya i raschoty konstruktsiy transportnykh sooruzheniy»*. 2009; 251: 45–52.

13. Sokolov S.B. Vliyaniye kolebaniy temperatury vozdukha v teplyakakh na temperaturu tverdeyushchego betona pri vozvedenii monolitnykh plitno-rebristykh prolotnykh stroyeniy v kholodnyy period goda [Influence of air temperature fluctuations in hotbeds on the temperature of hardening concrete during the erection of monolithic slab-ribbed spans during the cold period of the year]. *Nauchnyye trudy OAO TSNIIS Ot gidravlicheskogo integratora k sovremennym komp'yuteram.* 2002; 213: 167–172.

14. Solov'yanchik A.R., Korotin V.N., Shifrin S.A., Veytsman S.G. Opyt snizheniya treshchinoobrazovaniya v betone ot temperaturnykh vozdeystviy pri sooruzhenii Gagarinskogo tonnelya [Experience in reducing cracking in concrete from thermal effects during the construction of the Gagarinsky tunnel]. *Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal Vestnik mostostroyeniya*. 2002; 3–4: 53–59.

15. Ginzburg A.V. Obespecheniye vysokogo kachestva i effektivnosti rabot pri vozvedenii tonneley iz monolitnogo betona [Ensuring the high quality and efficiency of work in the construction of tunnels from monolithic concrete]. *Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal Vestnik MGSU*. 2014; 1: 98–110.

16. Solov'yanchik A.R., Shifrin S.A., Korotin V.N., Veytsman S.G. Realizatsiya kontseptsii «kachestvo» pri sooruzhenii Gagarinskogo tonnelya v g. Moskve [Realization of the concept of "quality" in the construction of the Gagarinsky tunnel in Moscow]. Nauchnyye trudy OAO TSNIIS

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

Tekhnologii i kachestvo vozvodimykh konstruktsiy iz monolitnogo betona. 2003; 217: 206–212.

17. Komandrovskij A.F. Opyt sooruzheniya prolyotnyh stroenij iz monolitnogo prednapryazhennogo zhelezobetona [Experience in the construction of superstructures of monolithic prestressed concrete]. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal *Vestnik mostostroyeniya.* 2003; 3–4: 24–29.

18. Vasil'yev A.I., Veytsman S.G. Sovremennyye tendentsii i problemy otechestvennogo mostostroyeniya [Modern trends and problems of domestic bridge construction]. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal *Vestnik mostostroyeniya*. 2015; 1: 2–17.

19. Kosmin V.V., Mozalev S.V. Problemy issledovaniy, proyektirovaniya i stroitel'stva mostov bol'shikh prolotov [Problems of research, design and construction of large span bridges]. *Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal Vestnik mostostroyeniya.* 2014;1: 19–24.

20. Balyuchik E.A., Chernyy K.D. Povysheniye treshchinostoykosti opor mostov iz monolitnogo betona konstruktivnymi metodami [Increasing the crack resistance of bridge supports made of solid concrete with constructive methods]. *Sbornik nauchnykh trudov TSNIIS*. 2010; 257: 49–57.

21. Solov'yanchik A.R., Shifrin S.A., Il'in A.A., Sokolov S.B. Vybor tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva betonnykh rabot pri vozvedenii massivnykh rostverkov i opor arochnogo pilona vantovogo mosta cherez reku Moskvu [Selection of technological parameters for the production of concrete works during the erection of massive grillage and support of the arch bridge of the cable bridge over the Moscow River]. Nauchnyye trudy OAO TSNIIS *Issledovaniye transportnykh sooruzheniy*. 2006; 230: 24–30.

22. Solov'yanchik A.R., Shifrin S.A., Korotin V.N., Veytsman S.A. Opyt ispol'zovaniya nepolnogo obzhatiya betona dlya preduprezhdeniya poyavleniya treshchin v konstruktivnykh elementakh transportnykh sooruzheniy [Experience in the use of incomplete compression of concrete to prevent the appearance of cracks in structural elements of transport structures]. Nauchnyye trudy OAO TSNIIS *«Tekhnologiya i kachestvo vozvodimykh konstruktsiy iz monolitnogo betona»*. 2003; 217: 200–205.

23. Balyuchik E.A., Velichko V.P., Chernyy K.D. Izgotovleniye blokov oblitsovki v zimniy period stroitel'stva mosta cherez reku Angaru [Manufacturing of cladding units during the winter construction of a bridge across the Angara River]. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal *«Transportnoye stroitel'stvo»*. 2012; 10: 4–7.

24. Velichko V.P., Chernyy K.D. Uchet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya v sborno-monolitnykh oporakh mostov na stadii ikh sooruzheniya [Account of the stress-strain state in the team-monolithic bridge supports at the stage of their construction]. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal «Transportnoye stroitel'stvo». 2013; 2: pp. 11–13.

Поступила 27.05.2018, принята к публикации 25.10.2019.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пуляев Иван Сергеевич (г. Москва, Россия) – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», ORCID ID 0000-0002-7785-2784 (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26).

Пуляев Сергей Михайлович (г. Москва, Россия) – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Строительные материалы и материаловедение», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», ORCID ID 0000-0002-6368-0547 (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan S. Pulyaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Binders and Concretes' Technologies, National Research Moscow State University of Civil Engineering, ORCID ID 0000-0002-7785-2784 (Russia, 129337, Moscow, 26, Yaroslavskoe Hw).

Sergey M. Pulyaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Construction Materials and Engineering Department , National Research Moscow State University of Civil Engineering ORCID ID 0000-0002-6368-0547 (129337, Moscow, 26, Yaroslavskoe Hw).

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Пуляев И.С. Постановка задачи, анализ результатов, оформление статьи.

Пуляев С.М. Обработка результатов, редактирование статьи.

AUTHORS' CONTRIBUTION

Ivan S. Pulyaev – statement of the problem; analysis of the results; article structuring.

Sergey M. Pulyaev – processing of the results; article editing.

© 2004–2019 Вестник СибАДИ
The Russian Automobile
and Highway Industry Journal