

УДК 693.557

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

А.Р. Соловьянчик¹, С.М. Пуляев², И.С. Пуляев³

¹ОАО «ЦЛИТ», Москва, Россия

²НИУ МГСУ, Москва, Россия

³НИУ МГСУ, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются вопросы, связанные с исследованием тепловыделения цементов, применяемых при строительстве мостового перехода через Керченский пролив. Данный вопрос представляется актуальным ввиду строительства указанного объекта в условиях сухого жаркого климата.

Материалы и методы. Исследование проводилось в условиях реального времени с применением современных информационно-аналитических систем, позволяющих получить результаты, максимально приближенные к реальным условиям. При обработке данных применялся современный расчетный комплекс, многократно апробированный на практике при проведении теплофизических расчетов твердеющего бетона различных массивных объектов.

Результаты. Показаны результаты исследования влияния вида цемента на интенсивность тепловыделения и на характер изменения его интегрального изотермического тепловыделения во времени.

Обсуждение и заключение. На основании сопоставительного анализа расчетных и практических измерений тепловыделения сделаны основные выводы по проделанной работе, даны рекомендации по применению цементов различных типов при строительстве Керченского моста и других аналогичных внеклассных объектов, которые вошли в основу разработанных технологических регламентов на производство подготовительных, арматурных, опалубочных и бетонных работ в условиях круглогодичного строительства. Статья будет интересна и полезна инженерно-техническому персоналу, работающему в условиях реального производства, и специалистам, занимающимся проблемами обеспечения высоких потребительских свойств бетона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бетон, цемент, тепловыделение, мостовой переход, экзотермия, сравнительный анализ, исследование.

ВВЕДЕНИЕ

В 2015 году в нашей стране началось строительство уникального мостового перехода через Керченский пролив длиной более 19 км. Расположение объекта в соленой морской воде, повышенные требования к сейсмостойкости, наличие ледовых нагрузок, большая высота сооружения, большая глубина пролива и другие факторы потребовали серьезного подхода к обеспечению качества бетонных работ и долговечности сооружения. Известно, что одним из свойств цемента, влияющих на качество бетонных работ, сроки строительства и долговечность конструктивных элементов является его тепловыделение, определяющее многие технологические факторы [1,2,3,4,5,6,7,8,9]. Опыт строительства сухих

доков на судостроительных заводах «Залив» (г. Керчь) и «Океан» в г. Николаеве показал, что тепловыделение зависит от многих факторов, которые необходимо учитывать при разработке технологии бетонирования. В течение ряда лет А. Р. Соловьянчиком проводились исследования тепловыделения цемента [10]. В ходе этих работ [11] на основе изучения физической сущности процесса гидратации цемента и обобщения многолетнего опыта получена теоретически и экспериментально обоснованная зависимость температурной функции кинетики гидратации цемента от вязкости воды затворения, вида цемента и вида теплового воздействия на бетон. Ниже изложены некоторые результаты исследований тепловыделения цементов в зависимости от таких технологических факторов, как условия

бетонирования, применение комплексных химических добавок и температура цемента, поступающего с цементных заводов.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Исследование тепловыделения цемента проводилось по специально разработанной методике, предложенной АО ЦНИИС [12], основные положения которой состоят в использовании составов бетонных смесей, выдерживаемых в условиях, максимально приближенных к реальным, до набора ими требуемой прочности с обязательным определением кинетики изменения температуры и тепловыделения бетонной смеси во времени при помощи термосного калориметра, которые требуются для расчёта теплового и собственного термонапряженного состояния в бетоне [13]. При изучении влияния условий бетонирования на тепловыделение цемента применялся сульфатостойкий цемент Ново-Амвросиевского завода, имеющий минералогический состав C_3S – 45%, C_2S – 35%, C_3A – 3,5%, C_4AF – 13%. Бетонная смесь имела следующий расход материалов на 1 м³ бетона: цемент М400 – 280 кг, песок – 630 кг, щебень фр. 5–20 мм – 458 кг, щебень фр. 20–40 мм – 392 кг, щебень фр. 40–70 мм – 457 кг, вода – 134 л. При затворении бетона применялись добавки (в % от веса цемента): СНВ-П – 0,002%; КДТ – 0,07%. Обработка экспериментальных данных была выполнена с помощью ПК. Для достоверности получаемых результатов каждый опыт повторялся 2–3 раза.

Также было определено тепловыделение цемента следующих составов в термосном калориметре:

- цементного теста с В/Ц = 0,3, помещённого в прибор непосредственно после затворения цемента водой и перемешивания;
- бетона, приготовленного в бетономешалке непосредственно на строительстве и помещённого сразу же после изготовления в прибор;
- бетона этого же состава, приготовленного в бетономешалке, провибрированного сразу же после изготовления и уложенного в прибор;
- такого же бетона, но провибрированного через 30–35 мин после приготовления и затем уложенного в прибор.

Как следует из анализа кривых интегрального тепловыделения (рисунок 1), условия бетонирования существенно влияют на тепловыделение цемента в начальные сроки твердения бетона. В первые 3–5 сут наименьшее тепловыделение наблюдается при испытании цементного теста, несколько больше у бетона, укладываемого без вибрирования и с вибрированием сразу после изготовления, и ещё больше у бетона, провибрированного через 30–35 мин после приготовления.

Увеличение тепловыделения цемента при твердении его в бетоне без вибрирования по сравнению с тепловыделением цементного теста можно объяснить тем, что инертные заполнители при перемешивании бетонной смеси в бетономешалке раздвигают слипшиеся цементные зёрна, деформируют и разламыва-

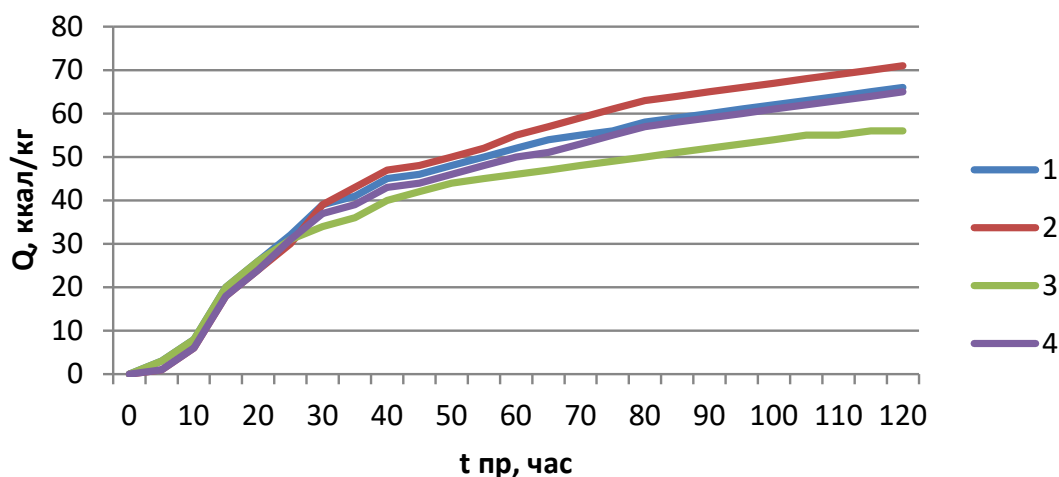


Рисунок 1- Тепловыделение цемента: 1 – в бетоне, провибрированном сразу после затворения; 2 – в бетоне, провибрированном через 35 мин после замеса в бетономешалке; 3 – цементного теста на дистиллированной воде; 4 – в провибрированном бетоне

Figure 1– Cement heat emission: 1 – in concrete, vibrated immediately after mixing; 2 – in concrete, vibrated after 35 minutes after kneading in a concrete mixer; 3 – cement paste, made on distilled water; 4 – in the vibrated concrete

ют их, обеспечивая свободный доступ воды к большему количеству зёрен, чем при затворении цементного теста без заполнителей. Увеличение количества цементных зёрен, принимающих участие в реакции гидратации, т.е. увеличение реакционной поверхности, содействует ускорению процесса твердения бетона в молодом возрасте вследствие увеличения выхода продуктов гидратации. Увеличение количества продуктов гидратации при этом сопровождается увеличением количества выделяемого тепла.

Картина тепловыделения выглядит несколько по-другому при вибрировании бетона через некоторое время после его приготовления.

Обычно после повышения температуры бетона сразу после затворения водой за счёт теплоты смачивания начинается постепенное снижение температуры образца вследствие эндотермического процесса растворения цементных зёрен. Уменьшение температуры бетона прекращается лишь тогда, когда теплота образования конечных продуктов и теплоты смачивания промежуточных и конечных продуктов гидратации водой оказываются равными по абсолютной величине теплоте растворения цементных зёрен. Опыты показали, что условия бетонирования существенно влияют на характер изменения во времени всех видов теплот и на время, требуемое для выравнивания их абсолютных величин.

Исследования показали, что вибрирование бетона через 30–35 мин после приготовления бетонной смеси приводит к значительно большему снижению температуры исследуемых образцов и к запаздыванию начала подъёма температуры. Однако последующий подъём температуры образцов происходит при этом интенсивнее, чем подъём температуры образцов из цементного теста и бетона, провибрированного сразу после изготовления. Физическая сущность этого явления следующая. При гидратации цемента поверхность зёрен покрывается водой, и они начинают интенсивно растворяться. После насыщения раствора вокруг зёрен возникают плёнки новообразований, которые делают гидратацию не избирательной, а обуславливаемой диффузионными процессами через них и пограничный слой вглубь поверхности зерна. Продукты гидратации при этом откладываются в пограничном слое, в плёнке новообразований и выносятся наружу в поры, заполненные водой.

Скорость структурообразования при гидратации цемента, а следовательно, и интенсив-

ность тепловыделения лимитируется разностью концентраций начальных (цемент и вода) и конечных (новообразований) продуктов и диффузией воды и промежуточных продуктов через пограничный слой и новообразования. Определяющими скорость гидратации и скорость тепловыделения при реакции гидратации цемента как гетерогенной реакции при температурах выше 20–25°C являются диффузионные процессы. При вибрировании бетона через 30–35 мин (или несколько позднее) новообразования и реакционные оболочки, покрывающие цементные зёрна, разрушаются, что обеспечивает свободный доступ воды к непрореагировавшей поверхности цементных зёрен. Вторично начинается усиленное растворение цементных зёрен, снижающее на некоторое время температуру образца вследствие преобладания эндотермического процесса растворения над экзотермическими процессами. Однако в рассматриваемом случае степень гидратации цементных зёрен за короткое время значительно увеличивается, что приводит к существенному увеличению выхода продуктов гидратации, и сопровождается увеличением количества выделяемого тепла на 10–20% в ранние сроки твердения бетона.

Следует отметить, что задержанное вибрирование наряду с увеличением интегрального изотермического тепловыделения увеличивает марочную прочность бетона. Это также можно объяснить увеличением степени гидратации цементных зёрен.

Исследованиями установлено, что время наибольшей интенсивности тепловыделения цемента соответствует времени образования пространственной кристаллизационной структуры в цементном камне, т.е. времени перехода бетонной смеси в бетон. Анализ интенсивности тепловыделения при различных условиях бетонирования показал, что при задержанном бетонировании время становления исследуемого бетона как материала происходит на 7 час приведённого времени (время твердения бетона в изотермических условиях при температуре 15°C) раньше, чем в цементном тесте и на 4 – 5 час раньше, чем в бетоне, провибрированном непосредственно после изготовления.

Таким образом, полученные результаты исследований по изучению влияния условий бетонирования на тепловыделение цемента в бетоне имеют значение не только при расчётах термонапряжённого состояния бетонных конструкций, но и для заводской технологии и для зимнего бетонирования.

Для изучения степени влияния химических добавок на тепловыделение цемента при твердении бетона было исследовано тепловыделение цементного теста, затворённого дистиллированной водой, водопроводной водой, водой с добавкой 2,5% от веса цемента CaCl_2 , водопроводной водой с добавками СНВ-П и КДТ. Результаты проведённых опытов даны на рисунке 2.

Введение хлористого кальция в количестве 2,5% от веса цемента содействовало увеличению количества тепла, выделяемого в начальный период твердения раствора (до 20–22 час), и некоторому уменьшению количества выделяемого тепла при твердении раствора в более поздние сроки (здесь и далее сравнение с тепловыделением цемента, затворённого дистиллированной водой). Полученные данные согласуются с данными о нарастании прочности бетона с добавкой 2,5% CaCl_2 , где также наблюдается уменьшение нарастания прочности в более поздние сроки твердения.

Исходя из этого можно сделать вывод, что при затворении цемента водным раствором электролита CaCl_2 создаются условия для увеличения интенсивности растворения алюминатов, действие которых также в значительной мере сказывается в первые сутки гидратации цемента.

Цемент, затворённый на водопроводной воде, содержащей различные минеральные примеси, основной из которых является CaCl_2 , выделил в начальный период твердения не-

сколько меньшее количество тепла, чем цемент с добавкой 2,5% CaCl_2 . Однако уже после 30 час твердения цемента на водопроводной воде количество выделяемого тепла превысило тепловыделение с 2,5% CaCl_2 и на пятые сутки твердения выровнялось с количеством тепла, выделяемого цементом, затворённым на дистиллированной воде.

Цемент с добавками СНВ-П и КДТ, затворённый на водопроводной воде, выделил такое же количество тепла, как и цемент без добавок. В работе [14] показано, что добавка СНВ-П не только пластифицирует смесь, но и увеличивает тепловыделение цемента в первые сутки твердения. Сопоставление полученных результатов по одновременному влиянию СНВ-П и КДТ на тепловыделение цемента показывает, что добавка КДТ в среднем настолько снижает тепловыделение цемента, насколько его увеличивает добавка СНВ-П, т.е. добавки нейтрализуют друг друга.

Так как на строительную площадку прибывал цемент, имеющий температуру до $50\div 110^\circ\text{C}$, было исследовано тепловыделение цемента, имеющего температуру $+75^\circ\text{C}$. Анализ приведённых на рисунке 3 данных показывает, что высокая температура цемента резко (в 1,5 – 2 раза) повышает интегральное изотермическое тепловыделение цемента. Такое явление можно объяснить тем, что с горячим цементом ещё не успел соприкоснуться водяной пар, содержащийся в воздухе, и создать защитную плёнку новообразований, предо-

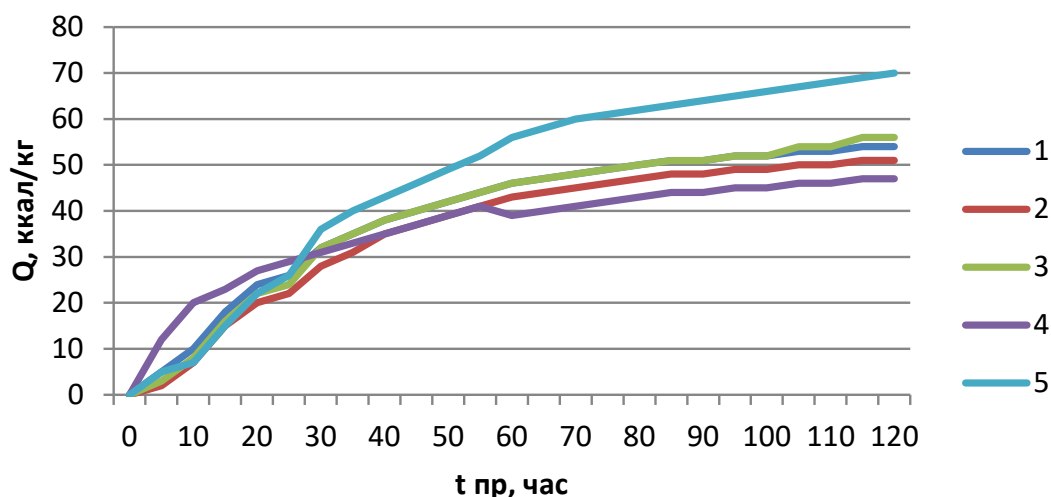


Рисунок 2 – Тепловыделение цементного теста, затворённого: 1 – на дистиллированной воде; 2 – на водопроводной воде; 3 – то же, но с добавками СНВ-П и КДТ; 4 – то же, но с добавкой 2,5% CaCl_2 ; ---- – тепловыделение реального бетона

Figure 2 – Cement paste heat emission: 1 – on distilled water; 2 – on tapping water; 3 – with additions of START-II and KDT; 4 – with addition of 2.5% CaCl_2 ; ---- – heat emission of real concrete

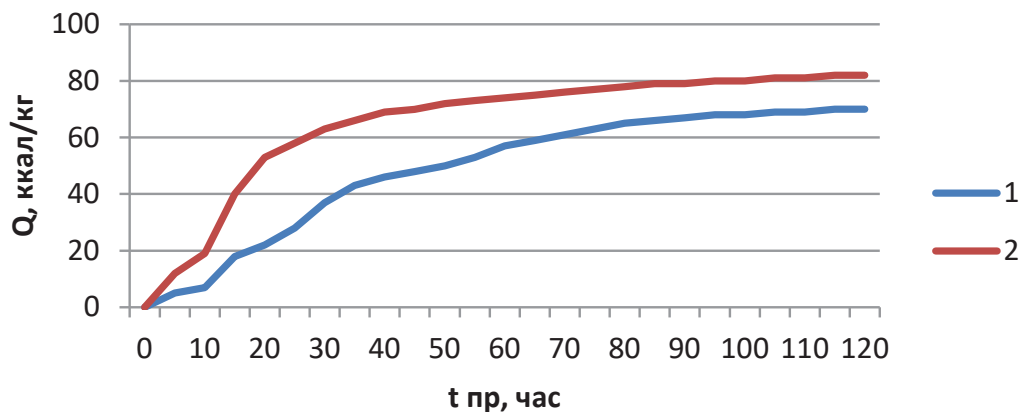


Рисунок 3 – Тепловыделение:
1 – цемента в бетоне, провибрированного через 35 мин после изготовления;
2 – цементного теста из цемента, имеющего температуру 75°C
Figure 3 – Heat emission: 1 – cement in concrete, vibrated after 35 minutes after manufacturing;
2 – cement paste in cement mixture of 75 ° C temperature

храняющую в дальнейшем зёрна цемента от интенсивной гидратации при затворении вяжущего водой. Вследствие того что раскрыты многочисленные микротрещины и поры, образующиеся при обжиге клинкера, цементные зёрна имеют увеличенную свободную поверхность, на которой может протекать реакция гидратации. При смачивании таких цементных зёрен водой в короткие промежутки времени образуется большое количество продуктов гидратации, начинается интенсивное структурообразование, сопровождаемое интенсивным тепловыделением [15, 16].

При отсутствии экспериментальных дан-

ных тепловыделение бетона в тепловых расчётах обычно определяется исходя из минералогического состава цемента, применяемого для приготовления бетона [15, 17, 18]. Анализ экспериментальных кривых интегрального тепловыделения (рисунок 4) показал, что тепловыделение бетона, укладываемого в конструкции, значительно превышает тепловыделение бетона, которое определено исходя из минералогического состава сульфатостойкого портландцемента, что потребовалось учесть при подборе составов бетонных смесей, применяемых при строительстве Керченского моста.

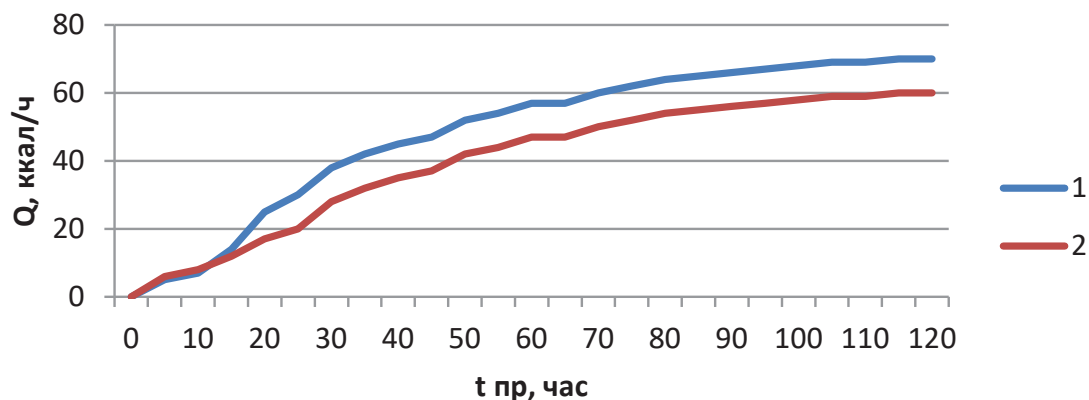


Рисунок 4 – Тепловыделение бетона:
1 – провибрированного через 35 мин после затворения; 2 – рассчитанное по минералогическому составу
Illustration 4 – Heat emission of concrete: 1 – vibrated after 35 minutes after mixing; 2 – calculated by mineralogical composition

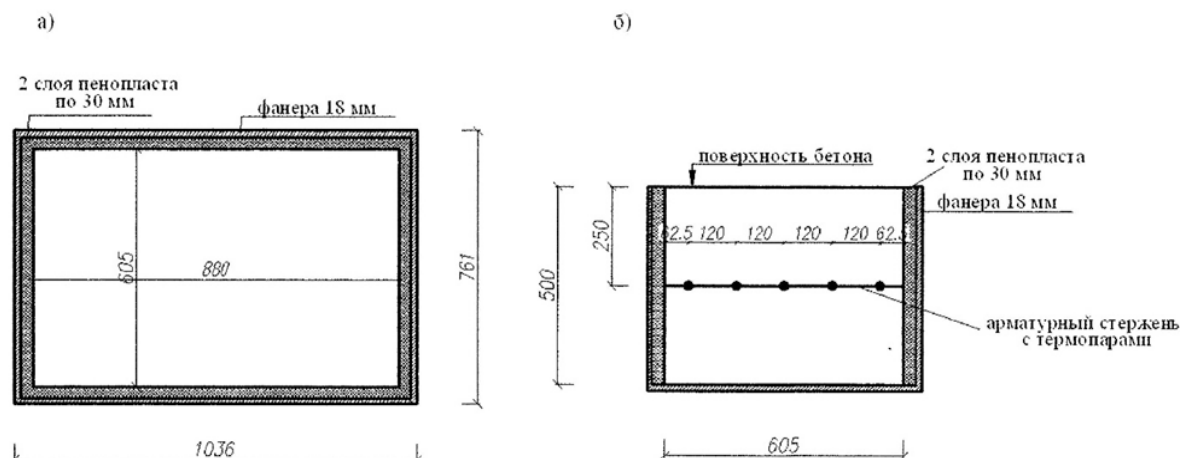


Рисунок 5 – Опалубка бетонизируемых образцов и расположение термодпар а) вид сверху; б) вид сбоку
Figure 5 – Formwork of concrete samples and location of thermocouples a) top view; b) side view

Исследования также показали, что для получения дополнительных данных по тепловыделению, необходимо исследовать реальные применяемые составы. В связи с этим возникла необходимость определения тепловыделения цементов, выпускаемых Новороссийским цементным заводом, – одним из основных по-

ставщиков цементов для строительства Керченского моста.

Тепловыделение определялось методом решения обратной задачи [19, 20, 21]. Для этих целей были приготовлены две опалубочные формы из фанеры толщиной 18 мм с утеплением из двух слоёв пенопласта по 30 мм

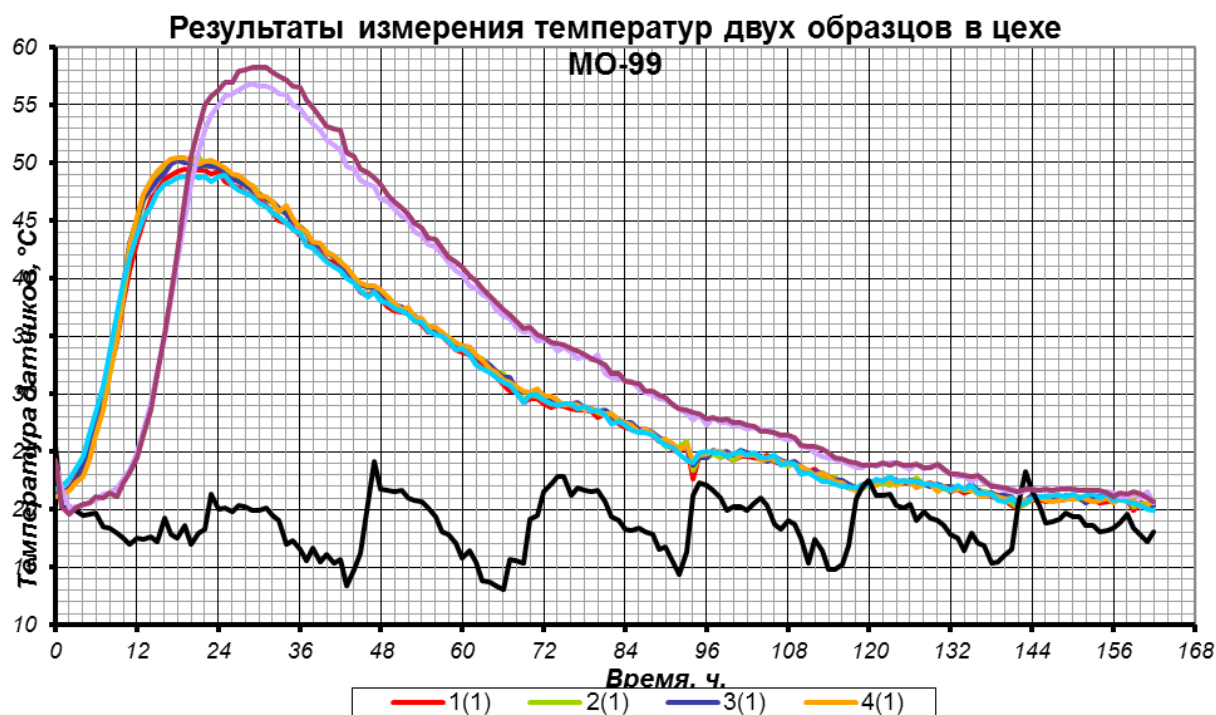


Рисунок 6 – Результаты замера температур твердеющего бетона двух серий образцов
Illustration 6 – Results of temperature measurement in hardening concrete of two samples' series

каждый. Внутри каждой формы (рисунок 5) был установлен арматурный стержень с прикреплёнными к нему термопарами, соединёнными с приёмным устройством.

В заводских условиях были изготовлены замесы бетонной смеси класса В45 на портландцементе без минеральных добавок тип ЦЕМ 1 класса 42,5 и на сульфатостойком цементе тип ЦЕМ 1 класс 42,5 БСС. При изготовлении замесов применялся песок с $M_{кр} = 2,84$; щебень фракции 5–20 мм и пластифицирующая добавка – Глениум 591. Подвижность бетонной смеси на портландцементе без минеральных добавок составила 18–20 см, на сульфатостойком цементе – 12–15 см осадки конуса. Температура в помещении составила 20°C, влажность – 56%.

После укладки бетонной смеси в опалубку ее открытая поверхность была закрыта полиэтиленовой плёнкой и дорнитом, включена запись показаний термопар, которая производилась в течение семи суток.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты измерения температур твердеющего бетона и температуры в помещении представлены на графике (рисунок 6). Максимальный разогрев образца на портландцементе без минеральных добавок составил на 8,5°C выше, чем образца на сульфатостойком цементе. Опыт показал, что бетон на бездобавочном цементе разогрелся значительно больше, чем на сульфатостойком цементе.

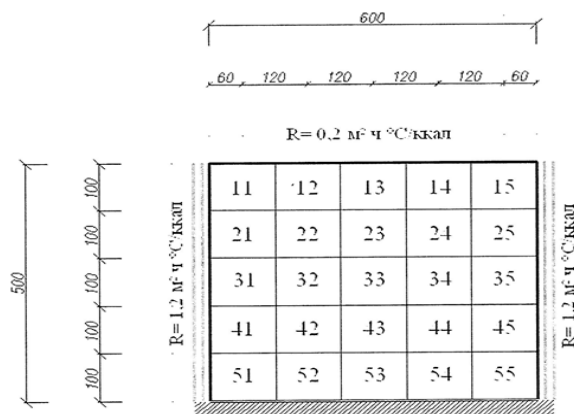


Рисунок 7 – Расчётная схема бетонного блока
Figure 7 – Diagram of concrete block

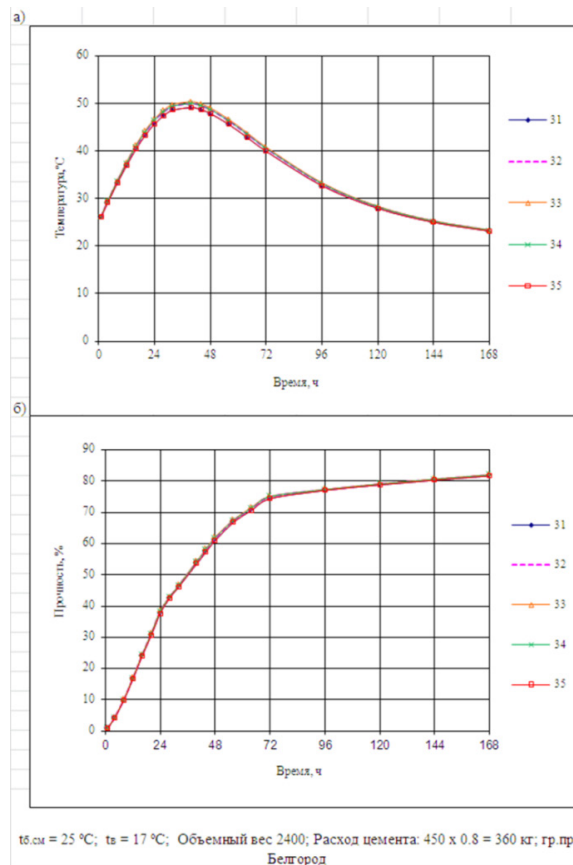


Рисунок 8 – График набора температур (а) и прочности (б) сульфатостойкого цемента
Figure 8 – Graph of temperature (a) and strength (b) of the sulphate resistant cement

Прочность бетона на седьмые сутки составила: для бетона класса В45 на портландцементе без минеральных добавок тип ЦЕМ 1 класса 42,5 – 62,57 и 58 МПа; для бетона класса В45 на сульфатостойком цементе класс 42,5 БСС – 54,55 и 51,5 МПа.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась путём сопоставления расчётных данных с экспериментальными данными. Расчёты проводились по ранее разработанной и много апробированной программе ЗА, где были учтены особенности твердения бетона. В программе исследуемая область (рисунок 7, 8) разбивалась на блоки бетонирования с указанием их теплового взаимодействия с окружающей средой. Проведенные расчёты подтвердили полученные результаты, согласно которым бетон на сульфатостойком цементе имеет разогрев и, следовательно, тепловыделение меньше (рисунок 8), чем бездобавочный цемент ЦЕМ1 (рисунок 9).

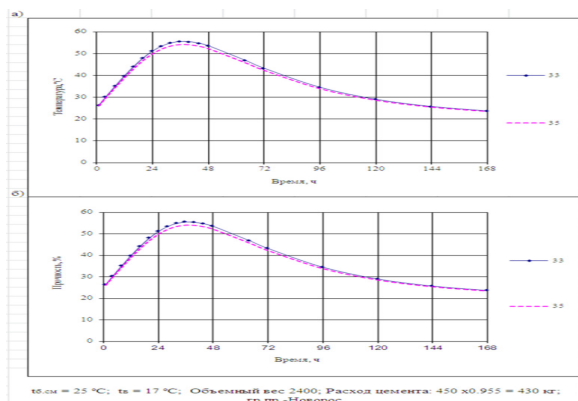


Рисунок 9 – График набора температур бездобавочного цемента
Illustration 9 – Graph of cement temperature without additions

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые теоретические и экспериментальные исследования тепловыделения цемента в процессе твердения в бетоне позволили получить выводы, согласно которым:

- задержанное вибрирование бетонной смеси увеличивает тепловыделение цемента в процессе твердения в бетоне в начальные сроки его твердения (1–2 сут) в среднем на 6–9%, и данное изменение необходимо учитывать при проведении теплофизических расчётов температурного и прочностного режимов и термонапряжённого состояния бетона в конструкциях путём введения в расчётную программу поправочного коэффициента или фактических данных тепловыделения по результатам проведения натурных испытаний;
- на основании проведенных испытаний в термосном калориметре установлено, что совместное применение комплексных добавок в количестве, рекомендуемом нормативными документами для повышения морозостойкости бетона, практически не сказывается на величине тепловыделения цемента в процессе твердения в бетоне;
- использование при приготовлении бетонной смеси горячего цемента с температурой более 60°C, прибывающего на строительную площадку с цементного завода, увеличивает тепловыделение в среднем в 1,5 – 2 раза от величины тепловыделения бетонной смеси, приготовленной с использованием цемента с температурой 15–20°C (с учётом массивности конструкции);
- фактическое тепловыделение цемента в процессе твердения в бетоне зачастую выше величины тепловыделения, рассчитанного по

минералогическому составу цемента, в среднем на 10–15%;

- сульфатостойкий цемент может эффективно использоваться при производстве работ в жаркий период года в условиях интенсивного ведения строительства объекта, т.к. он обладает пониженным тепловыделением по отношению к обычному портландцементу ввиду пониженного содержания минералов цемента C_3S и C_3A .

Полученные выводы легли в основу разработанных авторами статьи технологических регламентов на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении массивных опор (ростверки, стойки, ригели), возводимых на суше и в акватории, при строительстве автодорожного и железнодорожного мостов через Керченский пролив в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона [22, 23, 24, 25] и позволили обеспечить необходимый темп бетонирования конструкций с соблюдением требуемых сроков оборачиваемости опалубки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пуляев И.С., Пуляев С.М. К вопросу о максимальной температуре основания, при которой допускается укладка бетонной смеси при возведении транспортных сооружений // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. № 2. 2011. С. 295-304.
2. Соловьяничик А.Р., Пуляев И.С. Влияние особенностей теплообмена твердеющего бетона конструкций с окружающей средой на его трещиностойкость // Вестник ТюмГАСУ. №4. 2015. С. 60-64.
3. Соловьяничик А.Р., Пуляев И.С. Строительство вантового моста через р. Оку на обходе г. Муром. Научные труды ОАО ЦНИИС «Исследование взаимодействия техногенных и природных компонентов транспортных природно-технических систем», №251. М.: ЦНИИС, 2008. С. 20–31.
4. 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.
5. Смирнов Н.В., Антонов Е.А. Роль ползучести бетона в формировании термонапряжённого состояния монолитных железобетонных конструкций в процессе её возведения. Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам», №213. М.: ЦНИИС, 2005. С. 89–117.
6. Соловьяничик А.Р., Коротин В.Н., Вейцман С.Г., Пуляев И.С. Возведение железобетонных пилонов вантового моста через р. Оку на обходе города Муром. Вестник мостостроения. №2. М.: 2008. С.11–16.
7. Евланов С.Ф. Технологические трещины на поверхности монолитных пролётных строений. Научные труды ОАО ЦНИИС «Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов», № 208. М.: ЦНИИС, 2002. С. 27-36.
8. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы

методов зимнего бетонирования. М.: ГАСИС, 2004. – 470 с.

9. Шифрин С.А., Ткачёв А.В. Тепловое взаимодействие твердеющего бетона и бетонного основания в условиях солнечной радиации. Сборник трудов ВНИИПИТеплопроект. М.: ВНИИПИТеплопроект, 1985. С. 19-27.

10. Сычев М.М. Твердение вяжущих веществ. Л., Стройиздат, 1974. 80 с.

11. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Физические основы прогнозирования собственного термонапряжённого состояния бетонных и железобетонных конструкций. Сб. научных трудов ЦНИИС, №73. М.: ЦНИИС, 1972. С. 36–42.

12. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Исследование тепловыделения цемента в термосном калориметре ЦНИИСа. Сб. докладов «Методы экспериментального определения и расчёта тепловыделения в бетоне». – М.: ВНИИПИ Теплопроект, 1971. С. 45–58.

13. Величко В.П., Цимеринов А.И. Методика прогнозирования термонапряжённого состояния цилиндрических бетонных массивов. Сб. научных трудов ЦНИИС, №73. М.: ЦНИИС, 1972. С. 117–129.

14. Соловьянчик А.Р. Энергосберегающие основы технологии изготовления мостовых и других железобетонных конструкций. Дисс. ... д-ра техн. наук. М.: НИИЖБ, 1985. 403 с.

15. Шифрин С.А. Теплофизические основы формирования потребительских свойств конструктивных элементов транспортных сооружений из монолитного и сборно-монолитного железобетона. Дисс. ... д-ра техн. наук. М.: ЦНИИС, 2007. 297 с.

16. Соловьянчик А.Р., Шифрин С.А., Коротин В.Н., Вейцман С.А. Опыт использования неполного обжата 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.

17. Антонов Е.А. Методика технологического регулирования термонапряжённого состояния монолитных железобетонных транспортных сооружений. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: ЦНИИС, 2005. 229 с.

18. Соколов С.Б. Методы предупреждения трещинообразования в железобетонных плитно-ребристых пролётных строениях мостов на стадии разогрева бетона от

экзотермии цемента. Дисс. ... кандидата техн. наук. М.: ЦНИИС, 2006. 206 с.

19. Пуляев И.С. Методы регулирования теплового режима бетона при ускоренном возведении железобетонных элементов пилонов вантовых мостов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. М.: ЦНИИС, 2010. С. 9-11.

20. Пассек В.В., Заковенко В.В., Антонов Е.А., Ефремов А.Н. Применение искусственного охлаждения в процессе управления температурным режимом возводимых железобетонных арок. Научные труды ОАО ЦНИИС «От гидравлического интегратора к современным компьютерам», №213. М.: ЦНИИС, 2002. С. 73–75.

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

22. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении опор, возводимых на суше и акватории при строительстве железнодорожного моста в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона. М.: ЦЛИТ, 2016. 259 с.

23. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении опор, возводимых на суше и акватории при строительстве автодорожного моста в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона. М.: ЦЛИТ, 2016. 207 с.

24. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при возведении стоек опор 252 и 253 (участок 6 «фарватер») при строительстве автодорожного и железнодорожного моста в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона. М.: ЦЛИТ, 2016. 119 с.

25. Технологический регламент на производство подготовительных, опалубочных, арматурных и бетонных работ при сооружении плиты проезжей части автодорожных пролётных строений в условиях круглогодичного строительства с проведением теплофизических расчётов твердеющего бетона М.: ЦЛИТ, 2016. 72 с.

RESEARCH OF HEAT TREATMENT OF CEMENT USED IN CONSTRUCTION OF BRIDGE TRANSITION THROUGH KERCHEN STRAIT

A.R. Solovyanchik, S.M. Pulyaev, I.S. Pulyaev

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the cements' heat generation issues used in the construction of the bridge across the Kerch Strait. This question is important because of the construction in dry hot climate's conditions.

Materials and methods. The research is conducted with the use of modern information and analytical systems, which allow to obtain the results closing to real conditions. Therefore, the research results of the cement type influence on the dissipation rate and the nature changes of its integral isothermal heat dissipation are shown in the article. The modern design complex repeatedly tested in practice while carrying out thermal calculations of concrete hardening on different massive objects is applied for the research.

Results. As a result, the recommendations by the cements of various types' usage in construction of the Kerch bridge and other similar extra-curricular facilities, which are included in the basis of the devel-

oped technological regulations for the production of preparatory, reinforcement, formwork and concrete year-round construction, are presented. The article would be interesting and useful for engineering specialists, who work in real construction conditions, and for experts, who deal with the problem of high consumer concrete properties' ensuring.

KEYWORDS: concrete, cement, heat emission, bridge, exothermic, comparative analysis, research.

REFERENCES

1. Pulyaev I.S., Pulyaev S.M. K voprosu o maksimalnoy temperature osnovaniya, pri kotoroy dopuskaetsya ukladka betonnoy smesi pri vozvedenii transportnykh sooruzheniy. [To the question about the maximum temperature of the substrate, which allowed the concrete mixture in the construction of transportation facilities.] *Nauchno-tehnicheskiy zhurnal. Vestnik MGSU*, 2011, no. 2, pp. 295-304.
2. Solovyanchik A.R., Pulyaev I.S. Vliyaniye osobennostey teploobmena tverdeyushchego betona konstruktsey s okruzhayushchey sredoy na ego treschinostoykost. [Effect of heat exchange features of hardening concrete structures with the environment on its crack resistance.] *Vestnik TyumGASU*, 2015, no. 4, pp. 60-64.
3. Solovyanchik A.R., Pulyaev I.S. Stroitelstvo vantovogo mosta cherez r. Oku na obhode g. Muroma. [The construction of a bridge across the river Oka river on the bypass of the city of Murom.] *Nauchnyye trudyi OAO TsNIIS «Issledovanie vzaimodeystviya tehnosfernykh i prirodnnykh komponentov transportnykh prirodno-tehnicheskikh sistem»* [Scientific works of JSC TsNIIS "Research of interaction of technosphere and natural components of transport natural and technical systems"] no. 251. Moscow, TsNIIS, 2008, pp. 20-31.
4. Sokolov S.B. Vliyaniye kolebaniy temperatury vozduha v teplyakh na temperaturu tverdeyushchego betona pri vozvedenii monolitnykh plitno-rebristyykh prolyotnykh stroeniy v holodnyy period goda [The effect of air temperature fluctuations in thermal shelters on temperature of hardening concrete in the construction of monolithic plate-ribbed spans in the cold period of the year.] *Nauchnyye trudyi OAO TsNIIS «Ot gidravlicheskogo integratora k sovremennym kompyuteram»* [Scientific works of JSC TsNIIS "From hydraulic integrator to modern computers"] no. 213. Moscow, TsNIIS, 2002, pp. 167-172.
5. Smirnov N.V., Antonov E.A. Rol polzuchesti betona v formirovani termopryazhYonnogo sostoyaniya monolitnykh zhelezobetonnykh konstruktsey v protsesse eYo vozvedeniya. *Nauchnyye trudyi OAO TsNIIS «Ot gidravlicheskogo integratora k sovremennym kompyuteram»* [The role of the creep of concrete in the formation of the thermally stressed state of monolithic reinforced concrete structures in the process of its construction.] [Scientific works of JSC TsNIIS «From hydraulic integrator to modern computers»], no. 213. Moscow, TsNIIS, 2005, pp. 89-117.
6. Solovyanchik A.R., Korotin V.N., Veytsman S.G., Pulyaev I.S. Vozvedenie zhelezobetonnykh pilonov vantovogo mosta cherez r. Oku na obhode goroda Muroma [Erection of reinforced concrete pylons of cable-stayed bridge over the Oka river on the bypass of Murom]. *Vestnik mostostroeniya [Bulletin of bridge construction]*, no. 2. 2008, pp. 11-16.
7. Evlanov S.F. Tehnologicheskie treschiny na poverhnosti monolitnykh prolyotnykh stroeniy. [Technological cracks on the surface of monolithic superstructures.] *Nauchnyye trudyi OAO TsNIIS «Problemyi normirovaniya i issledovaniya potrebitelskikh svoystv mostov»* [Scientific works of JSC TsNIIS «Problems of standardization and research of consumer properties of bridges»] no. 208. Moscow, TsNIIS, 2002, pp. 27-36.
8. Krasnovskiy B.M. Inzhenerno-fizi heskie osnovy metodom zimnego betonirovaniya. [Engineering and physical bases of methods of winter concreting.] Moscow, GASIS, 2004. 470 p.
9. Shifrin S.A., TkachYov A.V. Teplovoe vzaimodeystvie tverdeyushchego betona i betonnoy osnovaniya v usloviyakh solnechnoy radiatsii. [Thermal interaction of hardening concrete and concrete base under the conditions of solar radiation.] *Sbornik trudov VNIIPITeploproekt. [Collection of works All-Union scientific-research and design Institute Teploprjekt]* Moscow, VNIIPITeploproekt, 1985. pp. 19-27.
10. Syichev M.M. Tverdenie vyazhushchih veschestv. [Hardening of binders.] L., Stroyizdat, 1974. 80 p.
11. Lukyanov V.S., Solovyanchik A.R. Fizicheskie osnovy prognozirovaniya sobstvennogo termopryazhYonnogo sostoyaniya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsey. [Physical bases of prediction of own thermally stressed state of concrete and reinforced concrete structures.] *Sb. nauchnykh trudov TsNIIS*, no. 73. Moscow, TsNIIS, 1972, pp. 36-42.
12. Lukyanov V.S., Solovyanchik A.R. Issledovanie teplovyyideleniya tsementa v termosnom kalorimetre TsNIISa. [Research of heat release of cement in a thermos calorimeter of the Central research Institute of construction] *Sb. dokladov «Metodyi eksperimentalnogo opredeleniya i raschyota teplovyyideleniya v betone»*. [Collection of reports "Methods of experimental determination and calculation of heat release in concrete."] Moscow, VNIPI Teploproekt, 1971, pp. 45-58.
13. Velichko V.P., Cimerinov A.I. Metodika prognozirovaniya termopryazhYonnogo sostoyaniya cilindricheskikh betonnykh massivov. [The technique of predicting the thermally stressed state of cylindrical concrete arrays.] *Sb. nauchnykh trudov CNIS*, no. 73. Moscow, CNIS, 1972, pp. 117-129.
14. Solovyanchik A.R. Energoberegayushchie osnovy tehnologii izgotovleniya mostovykh i drugih zhelezobetonnykh konstruktsey. [Energy-saving principles of manufacturing technology bridges and other concrete structures.] *Diss. ... d-ra tehn. nauk. Moscow, NIIZhB*, 1985. 403 p.
15. Shifrin S.A. Teplofizicheskie osnovy formirovaniya potrebitelskikh svoystv konstruktivnykh elementov transportnykh sooruzheniy iz monolitnogo i sborno-monolitnogo zhelezobetona. [Thermophysical bases of formation of consumer properties of structural elements of transport constructions from monolithic and precast-monolithic reinforced concrete.] *Diss. ... d-ra tehn. nauk. Moscow, TsNIIS*, 2007. 297 p.
16. Solovyanchik A.R., Shifrin S.A., Korotin V.N., Veytsman S.A. Opyit ispolzovaniya nepolnogo obzhatiya betona dlya preduprezhdeniya poyavleniya treschin v konstruktivnykh elementakh transportnykh sooruzheniy. [Experience in the use of incomplete compression of concrete to prevent cracks in the structural elements of transport facilities.] *Nauchnyye trudyi OAO TsNIIS «Tehnologiya i kachestvo vozvodimyykh konstruktsey iz monolitnogo betona»*, [Scientific works of JSC TsNIIS «Technology and the quality of the building structures of reinforced concrete »] no. 217. Moscow, TsNIIS, 2003, pp. 200-205.
17. Antonov E.A. Metodika tehnologicheskogo regulirovaniya termopryazhYonnogo sostoyaniya monolitnykh zhelezobetonnykh transportnykh sooruzheniy. [The technique of technological regulation of the heat-stressed state of monolithic reinforced concrete transport facilities.] *Diss. ... kand. tehn. nauk. Moscow, TsNIIS*, 2005. 229 p.
18. Sokolov S.B. Metodyi preduprezhdeniya treschinooobrazovaniya v zhelezobetonnykh plitno-rebristyykh prolyotnykh stroeniyah mostov na stadii razogreva betona ot ehkzotermii tsementa. [Methods for preventing cracking in reinforced concrete slab-ribbed spans of bridges at the stage of heating concrete from cement exothermic.] *Diss. ... kandidata tekhn. nauk. Moscow, TsNIIS*, 2006. 206 p.

- Пуляев И.С. Проведение расчётов, обработки результатов измерений, редактирование и оформление статьи