

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 69.05:628.153

DOI: 10.34708/GSTOU.2020.19.91.005

СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ НАПРЯГАЮЩИХ БЕТОНОВ ЗАМОНОЛИЧИВАНИЯ СТЫКОВ

© Ж. Т. Айменов¹, А. Ж. Айменов¹, И. З. Кашкинбаев²

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан

²КазГАСА, Алматы, Казахстан

В работе приведены результаты исследований по проектированию составов мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе для замоноличивания стыков труб. Задачей исследования явилось получение материала заделки стыков с заданными физико-механическими свойствами. Для этого были определены оптимальные составы мелкозернистых бетонов на напрягающих цементах и условия получения материала, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к бетонам заделки стыков бетонных труб, закрытых водоподающих систем. Исследования проводились на экспериментальных установках. Установлено, что мелкозернистые бетоны на основе напрягающего цемента обладают особо плотной структурой, обуславливающей их высокую непроницаемость, также повышенную трещиностойкость благодаря наличию в них самонапряжения.

Высокая непроницаемость обусловлена его слабо пористой структурой, округлой изометричной формой пор, отсутствием неплотностей между заполнителем и цементом. Исследованиями установлено, что путем изменения водоцементного отношения, расхода напрягающего цемента и песка можно регулировать структуру напрягающего бетона.

Ключевые слова: стыки труб водоподающих систем, напрягающий цемент, мелкозернистый бетон.

Размеры усадки обычного бетона не позволяют с гарантией заделывать стыки труб, и придание водонепроницаемости обычным цементом оказывается трудно реализуемой задачей, так как последующая усадка вызывает трещины или отделение бетона, при этом затрудняется замоноличивание железобетонных труб в единую жесткую систему.

Анализ исследований [1] показывает, что при изучении путей повышения прочности растворов необходимо учитывать изменение прочностных и деформативных свойств заполнителя в бетонах при предварительном обжате его цементной обоймой.

Предварительное обжатие заполнителя обеспечивается вследствие деформаций це-

ментного камня. Это явление, с одной стороны, приводит к увеличению прочности заполнителя в бетонах, а с другой – к появлению растягивающих напряжений вокруг негидратированных крупных зерен цемента. Подобные «инородные» тела препятствуют объемным деформациям (усадке) цемента, следовательно, являются концентраторами внутренних напряжений более высокого порядка. Это сказывается на конечной прочности бетона. Устранение или предельное уменьшение этих усадочных напряжений (усадок) может стать резервом повышения прочности бетонов.

Такое положение ставит перед технологами задачу определения путей реализации этого резерва, повышения прочности мелкозерни-

стых бетонов для заделки стыков труб инженерных систем и сооружений.

О правильности постановки задачи, о необходимости уменьшения усадочных деформаций именно растворной составляющей можно убедиться, анализируя результаты исследования, приведенные В.В. Михайловым [2]. Исследуя капиллярное взаимодействие коллоидных частиц затвердевшего цементного камня, В.В. Михайлов показал, что внешнее проявление усадки растворов и бетонов значительно меньше усадки самого цемента в связи с сопротивлением процессу усадки, оказываемым заполнителем. При этом размер усадки содержащегося цемента в растворе остается на прежнем уровне, в силу чего в каждой пазухе между заполнителями возникают большие растягивающие напряжения в цементном камне, приводящие к появлению в нем микротрещин (усадочных трещин). Существование таких внутренних разрывов, кроме понижения прочностных и деформативных свойств, ведет также к понижению водонепроницаемости [4]. Как известно, водонепроницаемость раствора служит одной из важнейших характеристик, определяющих его применение в стыках труб водоподающих систем.

Производственные наблюдения и экспериментальные исследования показали, что единственным путем фильтрации воды являются стыки труб, а именно капилляры и неплотности материала заделки. Следовательно, задача обеспечения водонепроницаемости стыков сводится к созданию высокой плотности (непроницаемости) материала заделки.

Подводя итог теоретического анализа, необходимо отметить, что на современном этапе одним из главных направлений исследований мелкозернистых бетонов для заделки стыков трубопроводов водоподающих систем оказывается определение условий получения материала с необходимыми физико-механическими свойствами (прочность, водонепроницаемость и др.) [5-6].

Исходя из внутреннего напряженного состояния компонентов бетона, обусловленного усадкой цементного камня, можно отметить, что одним из значимых резервов повышения прочности и водонепроницаемости стыков

служит устранение или предельное уменьшение усадочных явлений в бетоне.

В решении этих вопросов перспективными являются исследования мелкозернистых бетонов, в которых в качестве вяжущего применен напрягающий цемент.

Как известно, мелкозернистые бетоны на гидравлических вяжущих при твердении на воздухе уменьшаются в объеме, поскольку процесс их твердения сопровождается усадкой. Усадочные деформации в сочетании с температурными деформациями и низкой прочностью бетона на растяжение приводят к появлению трещин в стыках труб, повышают их деформативность, уменьшают непроницаемость и долговечность.

Следовательно, важной задачей исследования явилось получение материала заделки стыков с заданными физико-механическими свойствами. С этой целью были выявлены оптимальные составы мелкозернистых бетонов на напрягающих цементах.

Оптимизация составов мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе осуществлялась из условия получения материала, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к бетонам заделки стыков железобетонных и бетонных труб, закрытых водоподающих систем. Подбор составов производился согласно действующей нормативно-технологической документации по принятым методикам абсолютных объемов и уточнялся по результатам пробных затворений корректировкой подвижности бетона в заданных пределах, и были подобраны составы мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе марок 20, 25 и 30 с удобоукладываемостью, определенной по способу Б.Г. Скрамтаева – (20+2) с. (таблица 1).

Прочностные показатели мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе подобранных составов определялись при коэффициенте вариации прочности контрольных образцов 6%. Испытание образцов в возрасте 28 суток показало соответствие подобранных составов мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе проектируемым маркам (таблица 2).

Исследования проводились на экспериментальных установках. При этом ставилась задача – определить физико-механические

Таблица 1.

Составы мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе

№ состава бетона	Марка цемента	Марка бетонной смеси	Расчетный расход материалов на 1 м ³ бетона, кг				Жесткость бетон. смеси	Коэффициент корректировки	Фактический расход материалов на 1 м ³ бетона, кг			
			Цемент	Песок	вода				Цемент	Песок	вода	
					Затворения	На пред. гидр.					Затворения	На пред. гидр.
1	400	350	360	730	144	14	20	0,947	341	691	136	13
2	400	300	320	670	135	13	22	0,975	293	653	132	13
3	500	250	280	580	125	12	22	0,982	275	570	123	12

Таблица 2.

Прочностные характеристики мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе

№ состава бетона	Марка бетона	Водоцементное отношение	Факт. объемная масса, кг/м ³	Предел прочности в МПа в возрасте, сут.					
				на сжатие		на растяжение при изгибе		на осевое растяжение	
				7	28	7	28	7	28
1	400	0,4	1181	28,3	34,9	5,6	6,2	3,1	3,8
2	400	0,45	1091	24,7	30,1	5,2	5,6	2,3	2,9
3	500	0,5	980	21,3	25,3	3,6	4,2	2,5	2,9

свойства мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе. Образцы выдерживались в условиях частично исключенной массоотдачи раствора. С этой целью для предохранения образцов от потери воды затворения открытая поверхность находящихся в формах образцов покрывалась самоклеящейся пленкой, что в свое время не препятствовало свободным деформациям расширения бетона на напрягающем цементе.

Исследуя величину расхода цемента, необходимо отметить, что он определяет не только технические свойства бетона, но и экономичность используемых составов. Установлено, что изменение прочности напрягающего мелкозернистого бетона с изменением расхода напрягающего цемента подчиняется закономер-

ностям, свойственным обычным бетонам. Однако для мелкозернистого бетона на напрягающем цементе эти значения предельной прочности по абсолютной величине значительно превосходят эти же показатели обычного бетона. Таким образом, применение напрягающего цемента взамен обычного при одинаковом их расходе позволяет получать бетоны более высокой прочности или обеспечивать снижение расхода, вяжущего при получении равнопрочных бетонов.

Предельные значения прочности бетона и соответствующие им расходы цемента приняты нами как эффективные (оптимальные). Так, для напрягающего бетона при прочности 34,0 МПа граница эффективного расхода напрягающего цемента составила 340-360 кг/м³, при

прочности 26,0-30,0 МПа – 250-300 кг/м³ соответственно, т. е. эффективным считается такой расход цемента, при котором на 1 кг вяжущего обеспечивается примерно 0,1 МПа прочности бетона. Выбор расхода цемента в пределах этой границы обеспечивает получение наиболее экономичных составов бетонов.

Применение напрягающего цемента в мелкозернистом бетоне вызывает необходимость включения в разряд важных его характеристик, наряду с прочностью, самонапряжение.

В этой связи исследования по определению физико-механических свойств мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе показали, что здесь существенную роль играют процессы расширения цементного камня. Кроме того, необходимо отметить, что при твердении образцов в условиях свободного проявления деформаций расширения показатели прочности и расширения взаимосвязаны и в известной степени зависят от применяемых мелких инертных материалов. Экспериментами выявлено, что наибольшими показателями развития свободного расширения обладают бетоны на керамзитовом заполнителе. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что материалы, обладающие пористостью, способны аккумулировать воду затворения, с последующей влагоотдачей и повышением процессов расширения.

Как правило, чем выше значение расширения, тем ниже прочность образцов в свободном состоянии, и наоборот, большему показателю прочности образцов соответствует меньшее значение их свободного расширения.

Вместе с тем, показатели расширения могут изменяться не только в зависимости от технологических факторов, но и от «внешнего», механического воздействия, ограничивающего проявление деформаций его свободного расширения [3]. Именно в таких условиях расширяется мелкозернистый бетон на напрягающем цементе, в котором деформации расширения бетона ограничены упругим сопротивлением замкнутого пространства стыковых соединений труб оросительных систем.

Расширение мелкозернистого бетона в условиях ограничения по сравнению с его свободным расширением уменьшается в не-

сколько раз. При этом деформации упругого обжатия цементного камня ничтожно малы по сравнению с разностью деформаций свободного и связанного (упруго ограниченного) расширения. Это говорит о том, что самонапряжение цементного камня, возникающее при ограничении деформаций его свободного расширения, не подчиняется закономерностям самонапряжения упругих тел [7-10].

Поскольку внешнее механическое ограничение деформаций свободного расширения мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе так резко влияет на размер его расширения, следует ожидать, что это также отразится на изменении в сторону увеличения прочностных характеристик (самонапряжение, плотность и водонепроницаемость). В данном случае просматривается общая закономерность, свойственная материалу, способному пластически деформироваться под нагрузкой. Опыты [2] по раннему нагружению бетона разных составов показали, что упрочнение бетона при его твердении под нагрузкой тем выше, чем больше цементного камня в бетоне и чем он «моложе», т. е. менее прочен к началу нагружения.

В конструкциях на основе напрягающего цемента расширение и соответствующее сжатие происходит вскоре после их изготовления. Следовательно, рассматривая твердение мелкозернистого бетона на напрягающем цементе в условиях связанных деформаций (стыки труб) в вышеуказанном аспекте, можно также ожидать увеличения его прочности по сравнению с прочностью бетона, расширяющегося свободно.

Результаты проведенных исследований показали, что прочность мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе, определенная по образцам расширяющихся в свободном состоянии, не характеризует прочность бетона в стыках труб. Так, прочность бетона в условиях связанной деформации на 20-30% выше прочности, определенной по образцам расширяющихся свободно. Здесь же было проверено влияние расходов напрягающего цемента и песка на самонапряжение бетона [3]. По мере увеличения расхода напрягающего цемента в мелкозернистом бетоне показатели его самона-

пряжения возрастают, что подтверждает мысль о границах эффективного расхода и получения наиболее экономичных составов напрягающих бетонов.

Мелкозернистые бетоны на основе напрягающего цемента обладают особо плотной структурой, обуславливающей их высокую непроницаемость не только по отношению к воде, к нефтепродуктам и газу, а также повышенную трещиностойкость благодаря наличию в них самоупрочения [3, 4].

Исследования по водонепроницаемости стыков труб водоподающих систем, заделанных мелкозернистым бетоном на напрягающем цементе, и влиянию на них различных факторов в настоящее время фактически отсутствуют.

В связи с этим изучалось влияние на водонепроницаемость мелкозернистых бетонов, расход напрягающего цемента, содержание песка в бетоне и водоцементное отношение. Испытания на водонепроницаемость мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе проводились в соответствии с ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости. Методы испытаний». Испытанию подвергались стандартные образцы, для них была принята единая методика проведения испытаний: подъем давления на 0,2 МПа, с выдержкой на каждой ступени 16 ч. Когда давление достигало 1,2 МПа, наибольшей величины, нормируемой для мелкозернистых бетонов, его повышали ступенями от 0,2 до 1,6 МПа, которые являются предельными для испытательной установки. Это вполне удовлетворяет требованиям, так как расчетное внутреннее давление в трубопроводах и соответственно в стыках труб достигает следующих параметров: 1,5 МПа – для I класса труб; 1,0 МПа – для II и 0,5 МПа – для III класса труб. При вышеперечисленных давлениях образцы выдерживались от 24 ч до 3-х суток, причем во всех случаях фильтрация воды через мелкозернистый бетон на напрягающем цементе не наблюдалась. В связи с этим для выявления качественных различий в структуре бетона в зависимости от различных факторов образцы после снятия давления немедленно извлекались из обоймы и разрушались под прессом по образующей, после чего

фиксируют высоту подъема воды в сечении и характер увлажнения.

Проведенные по вышеуказанной методике испытания позволили установить, что в образцах мелкозернистого бетона на напрягающем цементе граница подъема при соответствующей величине давления располагается на определенном расстоянии от нижней плоскости образца. При этом длительное выдерживание образцов под давлением не увеличивает глубину пропитки их водой, дающее основание предполагать, что после подъема жидкости до определенной границы фильтрация прекращается.

Результаты экспериментов согласуются с исследованиями [2], в которых считается, что продвижение жидкости в глубь бетонов происходит вначале под действием градиента давления ΔP и сил капиллярного всасывания P_c , направленных в одну сторону. При достижении поднимающейся жидкостью уровня, соответствующего высоте капиллярного подъема, силы капиллярного всасывания начинают препятствовать дальнейшему продвижению жидкости, которое становится возможным только при условии, когда $\Delta P > P_c$. При этом будет иметь место так называемое вязкое течение жидкости через бетон. Необходимое условие этого процесса – наличие некоторого избыточного давления, превышающего капиллярные силы.

Наблюдаемая в наших экспериментах высокая водонепроницаемость мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе определяется высокой полностью и непроницаемостью зоны контакта между напрягающим цементом и заполнителем, являющегося следствием уплотнения цементного камня напрягающего цемента в условиях всестороннего сжатия вследствие самоупрочения. Кроме того, высокая непроницаемость обусловлена его слабopористой структурой, округлой изометричной формой пор, а также отсутствием неплотностей между заполнителем и цементом.

Результаты наших экспериментов согласуются с результатами исследований водонепроницаемости бетонов на напрягающем бетоне [2]. Испытаниям по методике и на установке НИИЖБа подвергались цилиндри-

Таблица 3.

Влияние технологических факторов на водонепроницаемость мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе

Расход материала на 1 м ³ бетона			Водоцементное отношение	Жесткость бетонных смесей, с	Глубина проникновения воды при 16 атм., см
Цемент	Песок	Вода			
360	730	158	0,45	20	3,7
320	670	148	0,47	20	3,9
280	580	137	0,51	22	4,2

ческие образцы $h = 300$ и $d = 100$ мм. При максимальном давлении воды на образец, которое предусмотрено прибором (2,4 МПа), не было обнаружено фильтрации воды. Это говорит о том, что исследованные нами составы мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе могут быть водонепроницаемыми и при давлении до 2,4 МПа.

Все это позволяет сделать вывод о том, что в формировании непроницаемой структуры бетона определяющее значение имеет расход напрягающего цемента. Влияние расхода напрягающего цемента на водонепроницаемость мелкозернистого бетона на напрягающем цементе изучалось на образцах, изготовленных из равноподвижных бетонных смесей жесткостью 20-22 с. Как видно из таблицы 3, увеличение расхода цемента от 280 до 360 кг на 1 м³ бетона привело к уменьшению проницаемости бетона.

Повышение непроницаемости мелкозернистого бетона с увеличением расхода цемента в этих пределах обусловлено тем, что в равноподвижных смесях увеличение расхода цемента приводит к уменьшению В/Ц, определяющему характер пористости единицы объема цементного камня в растворе, а также более полному заполнению межзерновых пустот песка (при Ц=280 кг/м³ объемное соотношение Ц: П составляет 1:2 при 360 кг/м³-1:1,5).

Последующее увеличение расхода напрягающего цемента свыше 360 кг/м³ не дает за-

метного изменения проницаемости бетона. Что же касается минимальных расходов цемента, при которых можно получить водонепроницаемый бетон, то, по результатам экспериментов, расход цемента с 280 кг/м³ мелкозернистого бетона позволяет достигнуть водонепроницаемости свыше W-12 (при проницаемости образцов 1,2 МПа). Увеличение расхода цемента в бетоне свыше 280 кг/м³ при максимальном давлении воды лишь изменяет высоту подъема воды в сечении образца. По показателям водонепроницаемости изученный напрягающий бетон значительно превышает максимальную марку по водонепроницаемости (W-12), нормируемой для обычных бетонов, и может быть отнесен к бетонам особо плотной структуры.

Результаты настоящих исследований показали, что при проектировании составов мелкозернистых бетонов на напрягающем цементе с маркой по прочности В-35 выбор расхода напрягающего цемента необходимо осуществлять исходя из необходимой прочности бетона. Это продиктовано тем, что расход цемента, обеспечивающий получение бетона прочностью 30 МПа, превышает минимально необходимый для обеспечения В/Ц. Расходом напрягающего цемента и песка можно регулировать структуру напрягающего бетона и получать плотные водонепроницаемые бетоны с различным сочетанием физико-механических свойств (прочность, объемная масса и самонапряжение).

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровский В. М., Сидоренко В. М. Дефекты бетонных конструкций и способы их устранения // ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1987. 7 с.

2. Михайлов В. В., Литвер С. А. Расширяющийся и самоупрочающийся цементы и самоупроченные железобетонные конструкции. Москва: Стройиздат, 1974. 346 с.
3. Айменов А. Ж., Кашкинбаев И. З., Айменов Ж. Т. Влияние режимов термообработки на прочность и самоупрочение напрягающегося бетона // Вестник МКТУ. № 1. Туркестан, 2011. С. 3-9.
4. Кашкинбаев И. З. Новое в строительстве магистральных трубопроводов: Монография. Алматы: Ғылым, 1998. 103 с.
5. Гендин В. Я. Массопотери прогретого бетона при выдерживании на морозе // Бетон и железобетон. 1992. № 3. С. 23-24.
6. Крылов Б. А. Вопросы теории и производства применения электроэнергии для тепловой обработки бетона в разных температурных условиях // Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. Москва: НИИЖБ, 1969. 51 с.
7. Крылов Б. А., Ли А. Н. О воздействии электрического тока на твердение бетона // Бетон и железобетон. 1992. № 2. С. 7-8.
8. Звездин О. И., Мирошниченко К. К., Пунагин В. Н. Составы, компенсирующие усадку на основе напрягающего цемента // Бетон и железобетон. 1989. № 4. 33 с.
9. Звездин О. И., Титов М. Ю. Бетон с компенсированной усадкой для возведения трещиностойких конструкций большой протяженности // Бетон и железобетон. Москва: Ладья, 2001. С. 17-20.
10. Горчаков Г. И., Лифанов И. И., Терехин Л. Н. Коэффициенты температурного расширения и температурных деформаций строительных материалов. Москва: Стандарты, 1969. 257 с.

CONSTRUCTION AND TECHNICAL PROPERTIES OF FINE-GRAIN STRESS CONCRETE JOINTS

© Zh. T. Aimenov¹, A. Zh. Aimenov¹, I. Z. Kashkinbayev²

¹South Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

²Kazakh Head Architecture and Civil Engineering Academy (KazGASA), Almaty, Kazakhstan

The paper presents the results of studies on the design of compositions of fine-grained concrete on tensile cement for monolithic pipe joints. The objective of the study was to obtain material for sealing joints with specified physical and mechanical properties. For this, the optimal compositions of fine-grained concrete on tensile cements were determined from the conditions for obtaining a material that meets the requirements. Presented to concretes for sealing joints of concrete pipes of closed water supply systems. The studies were carried out in experimental facilities. It was established that fine-grained concrete based on tensile cement has a particularly dense structure, which determines their high impermeability, as well as increased crack resistance due to the presence of self-stress in them.

High impermeability is due to its weakly porous structure with a rounded isometric pore shape, the absence of leaks between the aggregate and cement. Studies have found that by changing the water – cement ratio, the flow rate of the cement and sand, the structure of the concrete can be adjusted.

Keywords: pipe joints of water supply systems, tensile cement, fine-grained concrete.

REFERENCES

1. Pokrovskii, V. M. and Sidorenko, V. M. (1987) Defekty betonnykh konstrukttsii i sposoby ikh ustraneniya. TsBNTI Minvodkhoza SSSR. [Defects of concrete structures and methods of their elimination. CBSTI of the USSR. Ministry of Water Resources], 7p.
2. Mikhailov, V. V. and Litver, S. A. (1974) Rasshiryayushchiysya i samonapryagayushchii tsementy i samonapryazhennyye zhelezobetonnyye konstrukttsii. Moskva, Stroizdat [Expanding and self-stressing cements and self-stressed reinforced concrete structures]. Moscow, Stroyizdat, 346 p.
3. Aimenov, A. Zh., Kashkinbaev, I. Z. and Aimenov Zh.T. (2011) 'Vliyanie rezhimov termoobrabotki na prochnost' i samonapryazhenie napryagayushchegosya betona [Influence of heat treatment modes on strength and self-stress of tensile concrete]. Zh.:Vestnik MKTU, №1, Turkestan, pp. 3-9.
4. Kashkinbaev I.Z. (1998) Novoe v stroitel'stve magistral'nykh truboprovodov. [New in the construction of trunk pipelines], Monografiya, izd-vo. «Gylm», «Almaty» 103 p.
5. Gendin, V. Ya. (1992) 'Massopoteri progetogo betona pri vyderzhivanii na morose' [Mass loss of heated concrete when kept in frost]. Zh. *Beton i zhelezobeton*. №3, pp. 23-24.
6. Krylov, B. A. (1969) Voprosy teorii i proizvodstva primeneniya elektroenergii dlya teplovoi obrabotki betona v raznykh temperaturnykh usloviyakh [Questions of the theory and production of the use of electricity for heat treatment of concrete in different temperature conditions]. Abstract of D. Tech. Sc. Dissertation. Moscow. SRIRC, 51 p.
7. Krylov, B. A. and Li, A. N. (1992) 'O vozdeistvii elektricheskogo toka na tverdenie betona' [About the effect of electric current on concrete hardening]. Zh. *Beton i zhelezobeton*, №2, pp. 7-8.
8. Zvezdin, O. I., Miroshnichenko, K. K. and Punagin, V. N. (1989) Sostavy Kompensiruyushchie usadku na osnove napryagayushchego tsementa [Shrinkage compensating compounds based on stress cement]. Zh.: *Beton i zhelezobeton*. №4,33 p.
9. Zvezdin, O. I. and Titov, M. Yu. (2001) 'Beton s kompensirovannoi usadkoi dlya vozvedeniya treshchinostoikikh konstrukttsii bol'shoi protyazhennosti' [Shrinkage-compensated concrete for long crack-resistant structures], Zh. *Beton i zhelezobeton*. Izd-vo Lad'ya, Moscow. Pp. 17-20.
10. Gorchakov, G. I., Lifanov, I. I. and Terekhin L.N. (1969) Koeffitsienty temperaturnogo rasshireniya i temperaturnykh deformatsii stroitel'nykh materialov. [Coefficients of thermal expansion and thermal deformation of building materials]. Standarty, Moscow, 257 p.