

Таблица 1. Уровни оседания частиц дисперсной фазы в различных дисперсионных средах

ВРЕМЯ (сек.)	Изменение оседания уровня частиц размером больше 10^{-3} см (мм.)					
	1	2	3	4	5	6
30	2	2	18	3	1	1
60	7	37	39	4	4	3
90	13	65	55	4	7	3,5
120	21	97	62	4,5	8	4,5
150	28	97	69	5	11	6
180	40	97	71	7	14	6
210	54	97	71	7,5	15,5	6,5
240	79	97	71	8,5	17,5	6,5
270	95	97	71	8,5	18	6,5
300	95	97	71	9	19	6,5
3600	95	97	71	9	19	6,5

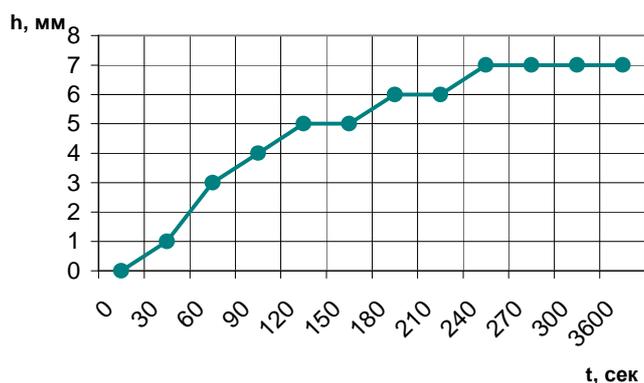


Рис. 3. График седиментационной устойчивости портландце-

УДК 693.22.004.18

Астафьев Я.В.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТВОРНОЙ ЧАСТИ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ НАПРЯГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА

Введение

Поскольку конструктивные формы современных железобетонных элементов зданий и сооружений становятся все более сложными, необычными, требующими специальной технологии изготовления, возникает потребность в применении новых эффективных технологий приготовления и укладки бетона. В настоящее время большое развитие в ряде стран (Японии, Великобритании, Германии, Дании и др.) получили самоуплотняющиеся бетоны. В соответствии с определением, приведенным в работе [1], самоуплотняющийся бетон (SCC – от англ. self-compacting concrete) – это бетон, который имеет превосходную способность к уплотнению под действием собственного веса, обладающий высокой устойчивостью против сегрегации, обеспечивающий воздухоотделение в момент укладки и растекания, и который может быть уложен в густоармированные конструкции без применения вибрации.

Составы самоуплотняющихся бетонных смесей SCC отличаются от традиционных наличием мелкодисперсных добавок-наполнителей, а также введением агента модифицирующего вязкость жидкой фазы и совместимого с ним суперпластификатора. Введение этих компонентов, как правило, оказывает влияние на величину деформаций усадки бетона. В работе [2] показано, что конечная усадка SCC примерно на 30...50% больше чем у традиционного бетона. Снижение величины усадочных деформаций самоуплотняющихся бетонов, а также получение дополнительных деформаций расширения при его твердении возможно при применении напрягающего цемента. Вместе с тем, применение напрягающего цемента для приготовления самоуплотняющегося бетона

ментной 1% суспензии на коллоидальном растворе золя кремнезема.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хигерович М.И., Меркин А.П. Физико-химические и физические методы исследования строительных материалов. - М.-«Высшая школа», - 1968.-С.190.
2. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии – М.- Издательство «Химия».-1964.-С.82-90.

практически не изучалось и очевидно необходимо внести коррективы при назначении составов таких бетонов.

Согласно [3] подбор состава SCC осуществляют расчетно-экспериментальным методом. На первом этапе принимают объемное соотношение цемента к наполнителю, затем определяют β_{fv} – объемную часть воды, необходимую для цемента и мелкодисперсного наполнителя в самоуплотняющемся бетоне. Исходя из принятых соотношений, проектируют состав растворной части самоуплотняющегося бетона SCC и определяют необходимую дозировку суперпластификатора. Прибавляя к полученной растворной части SCC крупный заполнитель в количестве 40...45% от объема твердой фазы бетона, что определено [3], получают SCC, параметры которого оценивают опытным путем и при необходимости корректируют.

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований основных технологических параметров самоуплотняющихся бетонов на основе напрягающего цемента.

Методика исследования

В выполненных исследованиях использовали смесь портландцемента класса 42,5 с расширяющейся сульфалоюминатной добавкой. В качестве расширяющейся добавки использовали смесь глиноземистого цемента и двуводного гипса. Соотношение ПЦ:ГЦ:Г составляло 76:14:10. Пластификатор – С-3 по ТУ 6-36-0204229-625-90, мелкодисперсный наполнитель – доломитовая мука. Истинная плотность материалов приведена в таблице 1

Таблица 1. Истинная плотность материалов

Материал	Истинная плотность, кг/м ³
Напрягающий цемент	3100
Доломитовая мука	2650
Песок кварцевый с модулем крупности $m_k=2,2$	2650

В опытах варьировали объемное содержание напрягающего цемента и мелкодисперсного наполнителя (НЦ/Н). Для определения объемной части воды β_{fv} изготавливали составы с различными водо-вяжущими отношениями (w/p), рассчитанными по объему, а затем определяли величину расплыва конуса в соответствии с методикой [1] (см. рис. 1). Для каждого принятого в опытах соотношения НЦ/Н производили по три испытания смесей напрягающего цемента и мелкодисперсного наполнителя с различными водо-вяжущими отношениями w/p. При установленной конечной величине расплыва конуса d определяли относительную растекаемость I_p согласно [1]

$$I_p = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 - 1, \quad (1)$$

где $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$.

Затем по полученным результатам строили график зависимости относительной растекаемости I_p от величины водо-вяжущего отношения w/p, и по правилам регрессионного анализа находили линейную функцию, описывающую зависимость водо-вяжущего отношения от относительного расплыва конуса, согласно [4], и с помощью экстраполяции устанавливали значение объемной части воды, соответствующей значению относительного расплыва конуса равного нулю (β_{fv}).

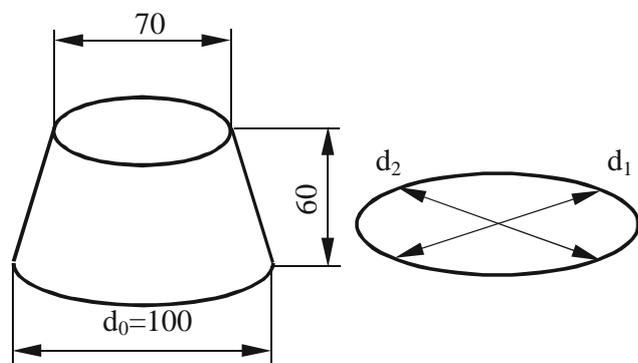


Рис. 1. К определению относительного расплыва конуса I_p

По полученным значениям водо-вяжущего отношения (w/p) проектировали растворы с объемным содержанием песка равным 40%. Определяли необходимое количество пластификатора исходя из условия, что время истечения растворной смеси из V-образной воронки, используемой в методике [4] (см. рис.2), должно составлять примерно 10с.

Для определения самонапряжения изготавливали образцы (по три образца для каждого НЦ/Н) размером 160x40x40 мм. Испытания образцов проводили по стандартным методикам [3].

Для оценки прочности изготавливали образцы-балочки 160x40x40 (по три образца для каждого НЦ/Н), половинки балочек испытывали на сжатие.

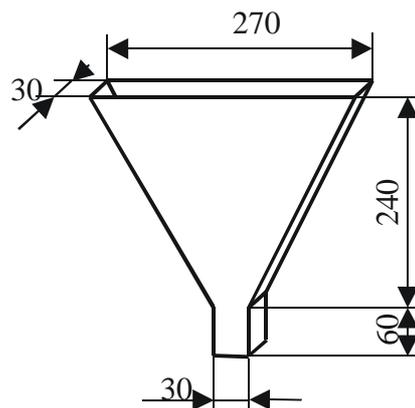


Рис. 2. V-образная воронка для определения вязкости растворной части самоуплотняющихся бетонов по методике [4]

Результаты испытаний

Результаты испытаний водопотребности смеси напрягающего цемента и мелкодисперсного наполнителя представлены в таблице 2.

На рисунке 3 показаны графики для определения β_{fv} . Из графика, показанного на рисунке 4 видно, рост объемного содержания воды замедляется после значения НЦ/Н равного 1,4. Полученные величины β_{fv} для напрягающего цемента и доломитового наполнителя лежат в интервале 0,75...0,84. Согласно [3] значение β_{fv} составляет примерно 0,9...1,1. Следовательно, водопотребность напрягающего цемента вместе с доломитовым наполнителем несколько ниже чем у обычного.

Составы самоуплотняющих растворов, приведенные в таблице 2, содержат 40% песка (по объему), дозировка пластификатора определена экспериментально из условия достижения необходимой вязкости раствора. В составах 1 и 2 значение β_{fv} увеличено на 10% согласно [3], так как предварительными испытаниями для достижения требуемой вязкости дозировка пластификатора приближалась к 1,5%. При этом было заметно расслоение смеси. Причем, если увеличить значение β_{fv} на 10% для состава 3, то дозировка пластификатора из условия достижения требуемой вязкости составит 0,6% при расплыве конуса 16 см, что не соответствует требуемой подвижности смеси согласно [4]. В итоге все принятые к исследованию растворы обладали примерно одинаковыми реологическими характеристиками, необходимыми для обеспечения самоуплотнения (см. таблицу 3).

Оценка величины самонапряжения и деформаций свободного линейного расширения стандартных составов растворов на основе напрягающего цемента была произведена согласно [5]. Дополнительно было установлено влияние на величину самонапряжения и деформаций свободного линейного расширения пластификатора С-3. Результаты испытаний образцов стандартных составов согласно [5] представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, при применении пластификатора С-3 в количестве 0,7% по массе цемента самонапряжение уменьшается на 35%, а величина деформаций свободного расширения снижается в 1,5 раза. Причины снижения характеристик напрягающего цемента при использовании пластификатора С-3 рассмотрены в работе [6].

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 5, деформации связанного расширения образцов в условиях одноосного ограничения стабилизировались примерно на пятые сутки. Как следует из рисунка 5, наибольшую и почти равную величину самонапряжения показали образцы составов 4 и 5, величина самонапряжения которых примерно на 30% больше чем у образцов состава 2 и 3 и примерно в два раза больше чем у образ-

Таблица 2. Определение водопотребности β_{fv}

Состав	w/p	Напрягающий цемент, г	Доломитовая мука, г	Вода, мл	Расплав конуса, см	I_p	β_{fv}
1	1,1	262	280	210	23,00	4,29	0,75
	1	276	294	200	21,50	3,6225	
	0,85	298	318	184	15,00	1,25	
2	1,1	309	240	210	23,00	4,29	0,78
	1	325	252	200	21,00	3,41	
	0,9	342	266	189	16,00	1,56	
3	1,1	344	210	210	22,00	3,84	0,81
	1	362	221	200	19,00	2,61	
	0,95	371	226	195	16,80	1,8224	
4	1,15	363	183	214	21,50	3,6225	0,828
	1	390	196	200	17,00	1,89	
	0,95	400	201	195	15,50	1,4025	
5	1,2	376	161	218	24,00	4,76	0,8357
	1,05	403	172	205	20,50	3,2025	
	0,95	424	181	195	15,50	1,4025	

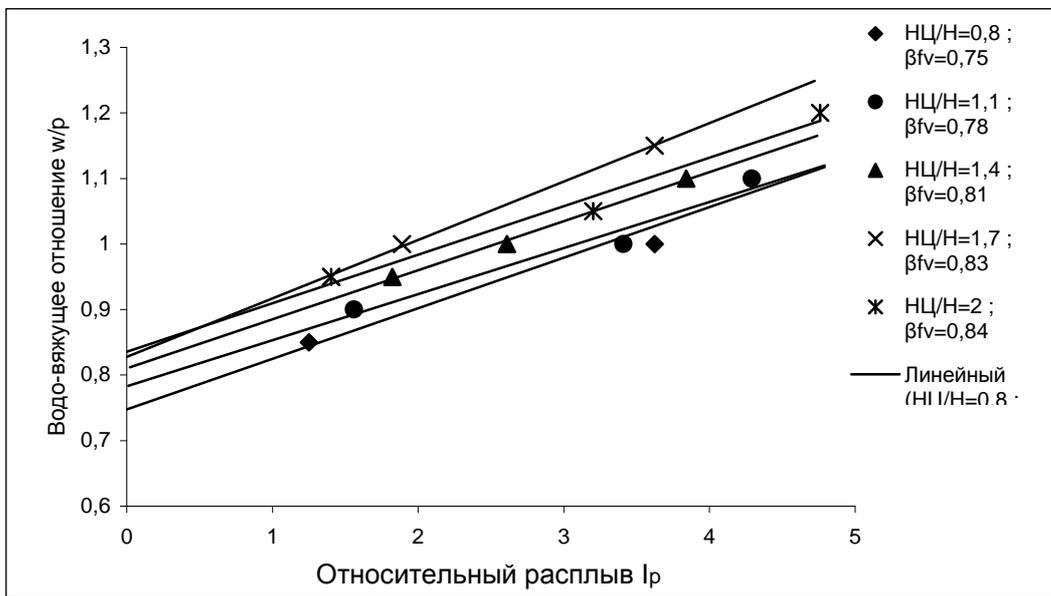


Рис. 3. К определению водопотребности β_{fv}

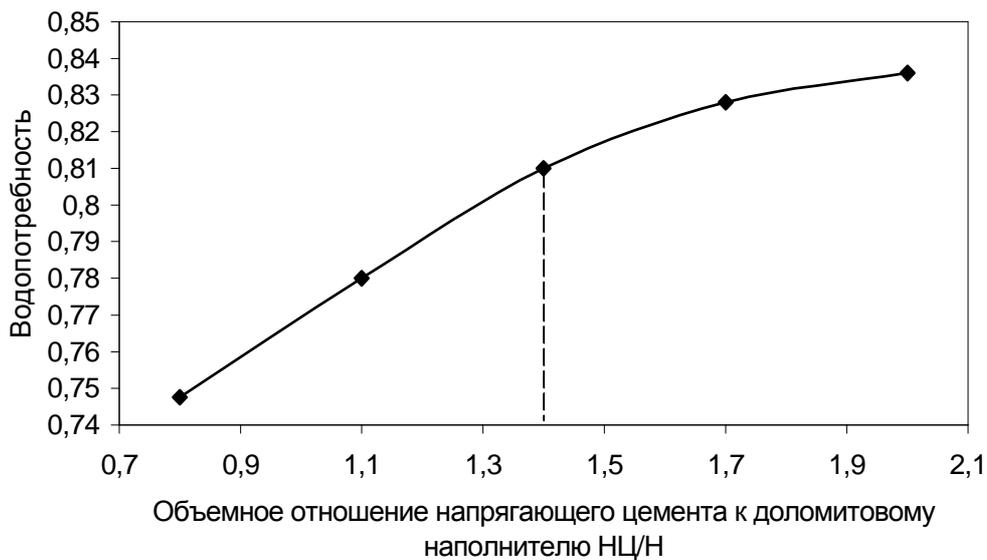


Рис. 4. Зависимость водопотребности от объемного отношения напрягающего цемента к доломитовому наполнителю

Таблица 3. Составы растворяющей части SCC и параметры вязкости и подвижности

Составы	Напрягающий цемент, кг/м ³	Доломитовая мука, кг/м ³	Песок, кг/м ³	Вода, л/м ³	С-3, % по массе цемента	w/p	Время истечения, с	Расплыв конуса, см
1	453,7	484,7	1060,0	270,7	1,00	0,822	9	24
2	524,4	407,5	1060,0	277,1	0,71	0,858	8	20
3	599,4	366,0	1060,0	268,5	1,03	0,81	10	23
4	640,7	322,1	1060,0	271,8	0,77	0,828	10	22
5	675,4	288,7	1060,0	273,2	0,65	0,836	10	19

Таблица 4. Влияние пластификатора С-3 на характеристики напрягающего цемента

Состав	С-3, % по массе цемента	Самонапряжение, МПа	Свободное линейное расширение, %	Прочность на сжатие*, МПа	
				1 сут.	28 сут.
1	0	2,88	0,51	9,8	67,1
2	0,7	2,06	0,35	8,4	63,6

*) примечание: прочность определена на образцах, твердеющих в условиях свободного расширения без динамометрических кондукторов.

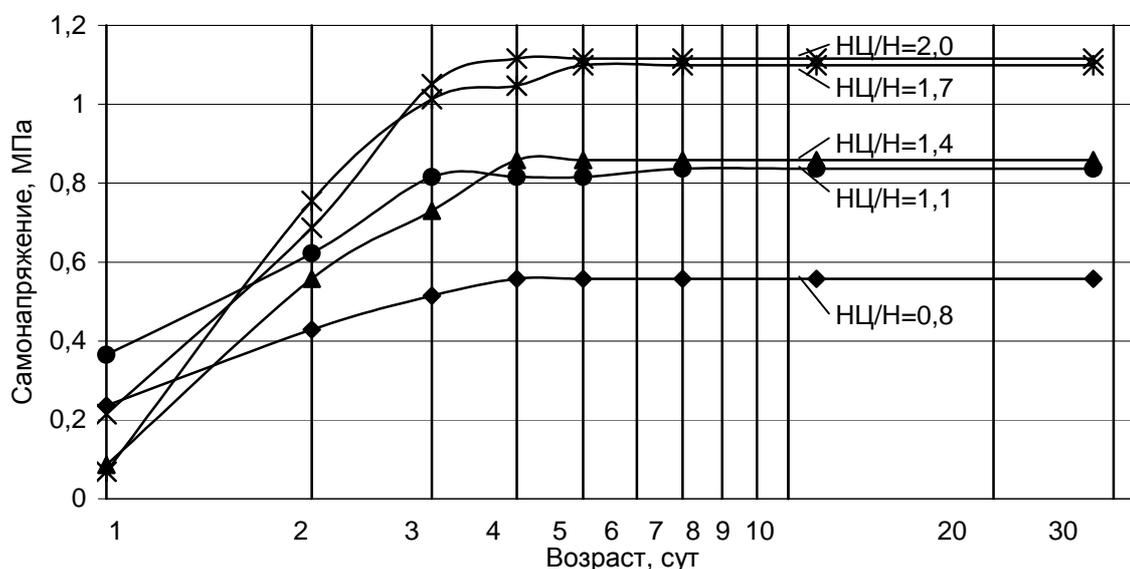


Рис. 5. Графики развития самонапряжения опытных образцов самоуплотняющихся растворов во времени

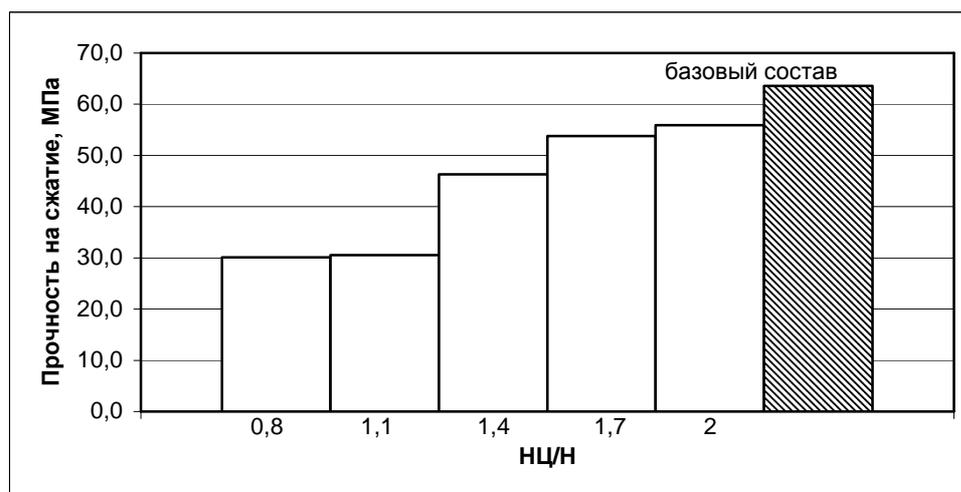


Рис. 6. Изменение прочности на сжатие опытных образцов

цов состава 1. Образцы первого состава показали, как и предполагалось, наиболее низкие значения самонапряжения. Снижение величины самонапряжения составов самоуплотняющихся растворов на основе напрягающего цемента исследованных

составов по сравнению со стандартными составами вероятно следует связать с изменением в/ц, применением доломитового наполнителя и введением пластификатора С-3.

На рисунке 6 показано изменение прочности на сжатие образцов испытанных составов. Как видно из рисунка 6 образцы составов 1 и 2 показали минимальную прочность. Это следует вероятно связывать с увеличением водо-вяжущего отношения. Прочность образцов пятого состава оказалась наибольшая, но она незначительно отличается от прочности образцов четвертого состава.

Заключение

На основании выполненных исследований можно заключить, что наиболее оптимальным из исследованных составов является раствор состава 4. Объемное отношение цемента к наполнителю в нем равно 1,7. Данный состав, имея необходимые реологические характеристики, показал относительно высокую прочность и самонапряжение. Прирост прочности и самонапряжения образцов состава 5 незначителен по сравнению с составом 4, зато подвижность смеси при требуемой вязкости наиболее низкая, что ограничивает возможность применения данного состава. Прочность образцов состава 4 на 18% ниже, чем у образцов базового состава. Это объясняется влиянием доломитового наполнителя и в/ц на снижение прочности.

Для получения самоуплотняющихся бетонов с малым расходом напрягающего цемента и обеспечивающих компен-

УДК 691.4:536.486

Никитин В.И., Болтрык М., Бацкель-Бжозовска Б.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ И РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ

1. Введение

В настоящее время долговечность изделий стеновой керамики, эксплуатируемых в условиях агрессивного воздействия внешней среды, обычно оценивается значением показателя ее морозостойкости. При этом под морозостойкостью понимается способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения. Способность материала сопротивляться такому воздействию зависит от различных факторов, среди которых большое значение имеет характер его капиллярно-пористой структуры. Чем лучше капиллярно-пористая структура материала компенсирует неблагоприятные воздействия, связанные с внутренним перемещением влаги в парообразном, жидком и твердом состояниях, тем выше показатель морозостойкости изделий из этого материала. На формирование пористой структуры керамического материала существенно влияет состав сырьевой смеси и условия обжига изделий. При наличии количественной оценки влияния этих факторов на показатель морозостойкости материала появляется возможность прогнозировать значения этого показателя в ходе технологического процесса. В данной работе на основе результатов специально спланированного эксперимента построена полиномиальная модель позволяющая во взаимодействии оценить влияние содержания и гранулометрии добавки кварцевого песка в керамической массе, максимальной температуры обжига и продолжительности ее действия на показатель морозостойкости керамических образцов.

2. Оценка момента отказа образцов по морозостойкости

Испытания керамического материала на морозостойкость

сированную усадку, в первом приближении следует принять объемное соотношение напрягающего цемента к доломитовому наполнителю в пределах от 0,8 до 1,1. Согласно [3] водо-вяжущее значение традиционных самоуплотняющихся бетонов на портландцементе лежит в пределах 0,9...1,1.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Proske, T.: Self-Compacting Concrete - pressure on formwork and ability to deaerate. Darmstadt Concrete 17 (2002). <http://www.darmstadt-concrete.de/2002/deaerate.html>
2. Sachstandsbericht Selbstverdichtender Beton (SVB) – Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 2001, s 107
3. Selbstverdichtender Beton (SVB) mit EFA-Füller® als Betonzusatzstoff Bindemittelkomponente (Berechnungs- und Prüfverfahren zur Betonzusammensetzung selbstverdichtender Betone (SVB)) - BauMineral GmbH Information, URL: www.bauminerall.de. 2000
4. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete - EFNARC, URL: www.efnarc.org. 2002
5. СТБ 1335-2002 Цемент напрягающий. Технические условия.
6. Кардунян Г.С. Эффективность модифицирования напрягающих бетонов комплексной добавкой микрокремнезема и суперпластификатора. / Вестник БГТУ №1, 2001 г.

осуществлялись в лабораторных условиях на образцах пластического формования в виде куба со стороной 50 мм. Подробная характеристика гранулометрического и химического составов глинистого сырья, а также состава формовочной смеси приведена в предыдущей работе [1].

Перед началом испытаний водонасыщенные образцы устанавливались в специальные гидро- и теплоизолирующие стаканы в соответствии с рисунком 1, что позволяло в процессе замораживания (оттаивания) отводить (подводить) тепло преимущественно с открытой поверхности (границы) кубического образца и создать условия близкие к одностороннему замораживанию (оттаиванию). Теплоизолирующие стаканы были изготовлены из пенополистирола и имели стенку толщиной 25 мм. Замораживание водонасыщенных образцов проводилось в климатической камере МК 720 Binder при температуре -18°C . Продолжительность замораживания составляла не менее 4 часов. Оттаивание теплоизолированных образцов происходило при температуре воздуха $+20^{\circ}\text{C}$. При оттаивании открытая поверхность образцов находилась под слоем воды. Один цикл замораживания и оттаивания заканчивался через 24 часа.

При стандартных испытаниях морозостойкость изделий стеновой керамики характеризуется числом циклов одностороннего или объемного попеременного замораживания и оттаивания отработанных изделиями до отказа в указанном режиме. Момент отказа фиксируется после обнаружения на поверхности изделий повреждений в виде шелушения, выкрашивания, расслоения, специфических трещин. Шелушение и отколы на поверхности керамических изделий в кладке наружных стен зданий являются первыми признаками разрушения материала. Этот вид повреждений должен служить ос-

Никитин Вадим Иванович. Д.т.н., профессор Политехнической Белостокской (ZBW), Польша.

Болтрык Михал. Д.т.н., профессор Политехнической Белостокской, Польша.

Бацкель-Бжозовска Беата. Магистр-инженер Политехнической Белостокской, Польша.