

УДК 627.823

UDC 627823

**СБОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОРОСИТЕЛЬНОЙ
СЕТИ ИЗ БЕТОНА С
МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕМ**

**IRRIGATING SYSTEMS OF CONCRETE WITH
MICROFILLER MODULAR ELEMENTS**

Федоров Виктор Матвеевич
к.т.н., профессор
*Новочеркасская государственная мелиоративная
академия, Россия*

Fedorov Victor Matveevich
Cand. Tech. Sci., professor
*Novocherkassk State Reclamation Academy,
Novocherkassk, Russia*

В статье показана целесообразность применения
золы-унос и керамзитовой пыли в бетоне плит и
труб, широко используемых на проводящих сетях
оросительных систем

In the article the expediency of application of ashe-
ablation and claydite dust in concrete slabs and pipes
widely used in the conducting grids of irrigation
systems is shown

Ключевые слова: ДОБАВКИ,
МИКРОНАПОЛНИТЕЛЬ, ОТХОДЫ, ЗОЛА,
КЕРАМЗИТОВАЯ ПЫЛЬ, ПЛИТЫ, ТРУБЫ,
БЕТОН, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ,
ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ,
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ФАКТОРЫ

Keywords: ADDITIVES, MICRO FILLER, WASTE,
ASHES, EXPANDED CLAY DUST, PLATES,
PIPES, CONCRETE, CRACK RESISTANCE,
ENDURANCE, RESISTANCE, MATHEMATICAL
MODEL, FACTORS

Эксплуатационная надёжность бетонных и железобетонных элементов во многом определяется физико-механическими свойствами бетона, зависящими от качества слагающих его компонентов. Большинство природных заполнителей, особенно песков, в связи с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц, являются некондиционными. Пылевидные и особенно глинистые частицы создают на поверхности зёрен заполнителя плёнку, препятствующую сцеплению их с цементным камнем. В результате прочность бетона значительно понижается [1]. На практике отрицательное влияние некондиционного заполнителя компенсируют повышением расхода цемента, что недопустимо. В связи с этим, для экономии цемента в состав бетонной смеси предлагается введение микронаполнителя.

Наиболее желательно было бы применение молотых минеральных материалов. Но использование их в смесях приводит к повышению себестоимости бетонных и железобетонных элементов. Поэтому, учитывая особенности сырьевой базы Северо-Кавказского региона, большой практический интерес представляет изучение возможности применения в

качестве микронаполнителей тонкодисперсных промышленных отходов. О целесообразности такого направления исследований свидетельствует тот факт, что только на региональных керамзитовых заводах ежемесячно вывозится в отвалы порядка 170 т керамзитовой пыли, а Новочеркасская ГРЭС является крупнейшим поставщиком золы-унос, отгрузка которой может производиться практически в неограниченных количествах.

В связи с вышеизложенным, в задачу исследований входило выявление влияния тонкодисперсных промышленных отходов (золы-унос, керамзитовой пыли) на эксплуатационные качества гидротехнического бетона плит и труб, широко используемых на проводящих сетях оросительных систем.

Железобетонные плиты креплений и плиты покрытий работают в сложных условиях, подвергаясь попеременному водонасыщению и высушиванию, отрицательно влияющих на их эксплуатационные свойства, прежде всего на трещиностойкость и долговечность. Указанные свойства оценивались нами на основе изменения прочности при изгибе бетонных образцов, находящихся в среде с переменной влажностью окружающей среды [2]. При этом сравнивались прочностные показатели при изгибе затвердевших образцов после насыщения их водой с прочностными показателями аналогичных образцов после насыщения их водой и дополнительного выдерживания в воздушно-сухих условиях при относительной влажности воздуха от 40 до 60 % в течение от 12 до 36 часов, и по полученным коэффициентам оценивались трещиностойкость и долговечность исследуемых бетонов.

Для выяснения влияния добавки золы-унос на трещиностойкость и долговечность бетона был использован двухфакторный симплекс-суммируемый план на правильном шестиугольнике. Этот план, несмотря на то, что не является оптимальным по статистическим характеристикам, выбран из-за его экономичности. По результатам всего семи опытов он

позволяет получить квадратичные двухфакторные модели исследуемых систем. Выбранные в качестве исследуемых факторов расход золы-унос в смесях (фактор X_1) варьировался в диапазоне от 0 до 320 кг/м³, а расход цемента (фактор X_2), с учётом составов бетона плит изменялся в опытах от 180 до 330 кг/м³ (табл. 1). Матрица и результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Кодирование и варьирование факторов

Факторы	Код X_i	Основной уровень, X_0 , %	Интервал варьирования ΔX_i	Нижний уровень, «-»	Верхний уровень, «+»
Зола-унос	X_1	160	160	0	320
Цемент	X_2	255	75	180	330

Таблица 2 – Реализация плана эксперимента

Номер опыта	План		X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$	Факторы		$R_{и}^{вл}$	$R_{и}^{сух}$	$K_{тр}$
	X_1	X_2				X_1 (З)	X_2 (Ц)			
1	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43	240	180	31,0	30,8	1,01
2	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43	80	330	47,6	46,5	1,02
3	0	0	0	0	0	160	255	45,8	39,9	1,15
4	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43	80	180	22,3	22,1	1,00
5	-1	0	1	0	0	0	255	35,7	37,2	0,96
6	+1	0	1	0	0	320	255	46,4	54,4	0,85
7	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43	240	330	59,4	58,9	1,01
$\sum X_i Y_k$	-11,0	2,0	282	303	-1,0					700

Для каждого из опытов изготавливались шесть образцов-призм 40×40×160 мм. Далее, образцы пропаривались и погружались в воду для полного насыщения водой. По истечении двух суток по три образца каждого из семи составов испытывались на изгиб ($R_{и}^{вл}$). Остальные три образца после извлечения из воды дополнительно, в течение 36 часов, выдерживались в воздушно-сухих условиях, после чего также испытывались на изгиб ($R_{и}^{сух}$). Трещиностойкость и долговечность согласно [2] оценивалась величиной $K_{тр} = R_{и}^{вл} / R_{и}^{сух}$. В результате обработки

экспериментальных данных и расчёта по известной методике [3] коэффициентов уравнения регрессии была получена начальная математическая модель $\hat{y}_k = 10^2 \cdot K_{тр}$:

$$\hat{y}_k = 115 - 3,7X_1 + 0,7X_2 - 24,5X_1^2 - 10,5X_2^2 - 1,3X_1X_2. \quad (1)$$

Расчёт критических величин коэффициентов и исключение статистически незначимого (b_2), позволили получить конечную математическую модель ($F_a = 2,7 < F_T = 3,8$):

$$\hat{y}_k = 115 - 3,7X_1 - 24,5X_1^2 - 10,5X_2^2 - 1,3X_1X_2. \quad (2)$$

Анализ математической модели (2) показал, что равнопрочность ($K_{тр} = 1$) бетонных образцов, находящихся в среде с переменной влажностью окружающей среды наблюдается в широком диапазоне расходов золы-унос. Учитывая целесообразность максимального использования летучих зол в бетонах, независимо от их марки, количество золы-унос на 1 м^3 смеси может быть доведено до 240-280 кг. Дальнейшее увеличение расхода золы-унос приводит к снижению трещиностойкости и долговечности бетона. Таким образом, введение летучих зол в бетонные смеси в оптимальных количествах обеспечивает не только экономное расходование цемента, но и повышает трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов (конструкций), работающих в условиях переменной влажности, характерных для водохозяйственных объектов.

В отличие от обычного бетона использование добавки золы в составе центрифугированного бетона железобетонных труб не привело к повышению эксплуатационных качеств бетона. Возможно, это связано с распределением частиц в процессе центрифугирования бетонной смеси. Под действием центробежных сил мельчайшие частицы золы, близкие по размерам к коллоидным, могут удаляться из бетонной смеси вместе с избыточной водой затворения, отжимаемой при центрифугировании из

бетонной смеси. В связи с этим было принято решение отказаться от использования золы в составе центрифугированного бетона железобетонных труб и исследовать влияние добавки керамзитовой пыли на свойства центрифугированного бетона.

Керамзитовая пыль вводилась в бетонную смесь заводского состава взамен части песка (или цемента). Количество воды затворения в каждом опыте подбирали экспериментально из условия получения равноподвижных смесей. Из приготовленных бетонных смесей формовали образцы-призмы $40 \times 40 \times 160$ мм и цилиндры диаметром и высотой 30 мм. Цилиндры формовали на лабораторной центрифуге в специальных формах. Затем образцы подвергались тепловлажностной обработке по режиму 4+3+6+4. Далее, призмы испытывались на изгиб, их половинки на сжатие, а цилиндры испытывали на раскалывание вдоль образующей. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние керамзитовой пыли на прочность бетона

№ состава	Цемент, кг/м ³	Керамзитовая пыль (КП)		Прочность образцов после ТВО					
				$R_{\text{изгиб}}$		$R_{\text{сжатие}}$		усилие на раскалывание	
		кг/м ³	% от массы Ц	МПа	%	МПа	%	Н	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	517	-	0	2,96	100	12,8	100	2785	100
2	385	130	25	3,00	102	12,4	97	2896	104
3	372	158	30	2,72	92	10,1	79	2613	94
4	525	53	10	3,67	124	17,6	137	3287	118
5	525	103	20	3,52	119	17,1	134	3537	127
6	525	130	25	3,78	128	16,2	126	3928	141
7	525	158	30	3,89	132	16,8	131	3815	137
8	525	185	35	-	-	-	-	3120	112
9	525	210	40	3,44	120	14,3	112	2590	93
10	525	310	50	2,98	101	13,2	103	2005	72

Как следует из представленных в таблице 3 данных, добавка керамзитовой пыли позволяет без снижения прочностных показателей сократить расход цемента на 25 %. При введении добавки керамзитовой пыли не за счёт цемента, а за счёт части песка, прочностные показатели

балочек повышаются в большей мере, чем центрифугированных цилиндров. Оптимальная дозировка добавки керамзитовой пыли находится в пределах 100-160 кг/м³ (20-30 % от массы цемента). При этом прочность центрифугированных образцов на растяжение при раскалывании повышается на 25-40 % без снижения расхода цемента.

На материалах завода напорных труб были изготовлены образцы центрифугированных бетонных труб диаметром 180 мм, длиной 300 мм с добавкой керамзитовой пыли в количестве 25 % от массы цемента, вводимой за счёт частичной замены песка и для получения сравнительных данных – без керамзитовой пыли. Опытные образцы труб после пропаривания подвергали испытаниям на гидростатическое давление. Образец без добавки выдержал давление 0,5 МПа, а труба с добавкой 25 % керамзитовой пыли разрушилась при давлении воды в ней 0,9 МПа. Добавка керамзитовой пыли повысила прочность на растяжение центрифугированного бетона на 80 %.

Испытания изготовленных в кольцевых формах одновременно с формированием труб бетонных образцов показали, что опытный состав центрифугированного бетона с добавкой 25 % керамзитовой пыли по сравнению с контрольным (заводским) прочнее при раскалывании на 17-20 %. Водопоглощение бетона с добавкой на 0,5-0,7 % ниже, чем контрольного. Таким образом, введение добавки керамзитовой пыли в состав центрифугированного бетона железобетонных труб позволяет существенно повысить его прочностные показатели, на 15-20 % снизить расход цемента без ухудшения прочности бетона, повысить трещиностойкость и водонепроницаемость труб, улучшить их качество и снизить процент брака при изготовлении труб по существующей технологии.

Что касается технологии применения добавки золы или керамзитовой пыли в производственном процессе по изготовлению

сборных элементов, то она не имеет принципиальных отличий от применения в производстве других известных порошкообразных материалов, в частности, цемента.

Транспортировка, перегрузочные операции и хранение на складе золы и керамзитовой пыли при поступлении их в россыпи (навалом) сопряжено с большими потерями от распыления и ухудшениями условий труда. В связи с этим, все операции по выгрузке поступающих на завод микронаполнителей и последующему их перемещению по технологической цепочке должны быть комплексно механизированы с использованием оборудования, предназначенного для работы с цементом.

Необходимая ёмкость склада золы (или керамзитовой пыли) зависит от мощности завода по производству сборных элементов и должна обеспечивать не менее 5-7-суточную потребность в микронаполнителе.

Наиболее совершенным средством для доставки микронаполнителя на завод-потребитель являются цементовозы-цистерны с пневматической разгрузкой, позволяющей без дополнительных приёмных устройств подавать золу или керамзитовую пыль в силосный склад на расстояние по горизонтали до 50 м и на высоту до 25 м. Часть микронаполнителя может непосредственно подаваться в расходный бункер, минуя силосы склада.

Для подачи золы (или керамзитовой пыли) в бетоносмесительное отделение, в зависимости от местных условий, может быть использован пневмотранспорт, аэрожелобы, шнеки, эрлифты, виброжелобы и другое герметичное типовое оборудование, применяемое в цементоводах.

Дозирование добавки микронаполнителя в бетоносмеситель должно осуществляться дозирующими устройствами, обеспечивающими точность дозирования на замес в пределах $\pm 1\%$ по массе добавки, заданной заводской лабораторией.

Оптимальная дозировка золы или керамзитовой пыли, зависящая от особенностей используемых в производстве сборных элементов

материалов и специфики технологических процессов на каждом предприятии, должна устанавливаться опытным путём заводской лабораторией и уточняться по мере изменения характеристик сырья и технологических режимов изготовления элементов.

Приготовление бетонной смеси с добавкой микронаполнителя можно осуществлять в бетоносмесителях любого типа, обеспечивающих заданную производительность и однородность перемешивания бетонной смеси.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1984. 672 с.
2. А.С. 346668, СССР. 1973. С 01n 33/38. Способ определения долговечности бетона.
3. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. 262 с.