

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/м<sup>3</sup>, а расход цемента (фактор  $X_2$ ), с учётом составов бетона плит изменялся в опытах от 180 до 330 кг/м<sup>3</sup> (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 $\Delta X_i$ | 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  $1 \text{ м}^3$  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 40×40×160 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 <sup>3</sup> | Керамзитовая пыль (КП) |              | Прочность образцов после ТВО |     |                     |     |                        |     |
|-----------|---------------------------|------------------------|--------------|------------------------------|-----|---------------------|-----|------------------------|-----|
|           |                           |                        |              | $R_{\text{изгиб}}$           |     | $R_{\text{сжатие}}$ |     | усилие на раскалывание |     |
|           |                           | кг/м <sup>3</sup>      | % 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/м<sup>3</sup> (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.