

## Использование сыпучих влагоемких материалов в технологии бетона

*Е.А.Шляхова, М.А. Шляхов, А.Г. Заровный*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Высокая водопотребность высокопластичных и литых бетонных смесей с высоким значением водоцементного отношения приводит к снижению показателей плотности и прочности бетона, а также повышению его усадки. Известные способы удаления избыточной воды затворения весьма трудоемки и не всегда достаточно эффективны. Предложен способ удаления избыточной воды затворения из бетонных смесей за счет использования сыпучих влагоемких материалов, способных интенсивно впитывать воду при контакте с бетонной смесью. Способность порошкообразных материалов поглощать влагу может оцениваться величинами максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ) и максимальной капиллярной влагоемкости (МКВ). Предложен критерий  $K_v$  оценки водопоглощающей способности порошков, и определены на его основе наиболее эффективный водопоглощающий сыпучий материал из числа изученных.

**Ключевые слова:** критерий оценки водопоглощения, сыпучий порошкообразный материал, бетонная смесь, водопоглощающая способность.

Водопотребность бетонных смесей определяется главным образом способами их уплотнения, так как на гидратацию цемента расходуется сравнительно небольшая часть воды затворения. Наиболее распространенным способом уплотнения умеренно жестких и пластичных смесей является их вибрирование. В этом случае бетонная смесь, уподобляясь тяжелой жидкости, проявляет тиксотропные свойства и заполняет опалубку и бортоснастку. При этом процесс виброуплотнения весьма энерго- и трудозатратен, а также сопровождается шумовыми и вибрационными воздействиями, негативно отражаясь на здоровье персонала.

Высокопластичные и литые бетонные смеси уплотняются главным образом за счет гравитационных сил и не требуют интенсивных вибрационных воздействий. Однако повышенный расход воды в бетонных смесях с высоким значением водоцементного отношения приводит к снижению показателей плотности и прочности бетона, а также повышению его усадки.

Удаление избыточной воды затворения из бетонной смеси методом вакуумирования требует специального оборудования, что ограничивает его применение.

Наиболее эффективным способом снижения расхода воды затворения является использование суперпластификаторов, номенклатура которых в настоящее время весьма обширна [1]. Однако и в этом случае водосодержание бетонных смесей остается сравнительно высоким.

В связи с изложенным представляется перспективной разработка способов удаления избыточной воды затворения из бетонных смесей за счет использования сыпучих влагоемких материалов, способных интенсивно впитывать воду при контакте с бетонной смесью. При этом следует иметь в виду, что процесс впитывания воды в этом случае обусловлен поверхностными взаимодействиями в гетерофазной системе и избытком свободной энергии в пограничном слое. Исходя из того, что поверхностная энергия пропорциональна площади соприкасающейся поверхности, в наибольшей степени указанные явления должны проявляться в тонкодисперсных сыпучих материалах [2].

Способность порошкообразных материалов поглощать влагу является одним из важнейших свойств, обусловленных капиллярными силами аутогезии [3]. Количественно она может оцениваться величинами максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ) и максимальной капиллярной влагоемкости (МКВ).

Максимальная молекулярная влагоемкость характеризует количество связанной воды, адсорбированной на поверхности дисперсных частиц. Эта величина соответствует максимальной влагоемкости материала, при которой еще не возникают жидкостные мениски и капиллярные силы аутогезии.

Величина максимальной капиллярной влагоемкости определяет количество влаги, которая находится в жидкофазном состоянии в поровом

---

пространстве дисперсной системы.

ММВ непосредственно связана с удельной поверхностью и характеризует энергетическое состояние порошка. В то же время ММВ обусловлена распределением по размерам дисперсных частиц и является структурным параметром порошка.

Исходя из природы ММВ и МКВ, была предложена методика оценки водопоглощающей способности порошкообразных материалов в условиях контакта с уплотняемой бетонной смесью.

Представляется очевидным, что водопоглощающая способность того или иного порошка повышается с увеличением суммы (ММВ + МКВ). С другой стороны, как известно [4], капиллярные силы аутогезии порошков обратно пропорциональны разности значений (МКВ-ММВ).

На основе рассмотренных положений, для оценки водопоглощающей способности порошков был предложен безразмерный критерий:

$$K_{\text{в}} = \frac{(\text{ММВ} + \text{МКВ})}{(\text{МКВ} - \text{ММВ})}$$

Эффективность предложенного критерия проверяли экспериментально с такими материалами как керамзитовая пыль, молотый известняк, зола уноса НГРЭС и др.

ММВ исследуемых материалов определяли по методу влагоемких сред [5], МКВ находили методом Е.И. Андрианова [4].

Вычисленные по опытным данным значения критерия  $K_{\text{в}}$  сопоставляли с прочностными показателями образцов, отформованных в контакте с изучаемым водопоглощающим материалом. С этой целью на формы балочек размером 40x40x160 после их заполнения песчаным бетоном с соотношением компонентов цемент: песок = 1:3 и величиной водоцементного отношения В/Ц равном 0,61 устанавливали сверху насадку и засыпали поверхность образцов слоем изучаемого порошка толщиной 15 мм. После 10-минутного

---

выдерживания насадку снимали и формы помещали в ванну с гидравлическим затвором. Формы распалубливали через сутки. Образцы испытывали на прочность в возрасте 28 суток нормального твердения. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица № 1

Водопоглощающая способность сыпучих материалов и ее влияние на прочность песчаного бетона

Вид сыпучего материала	Параметры влагоемкости, %		Критерий $K_B$	$R_{28}, \frac{МПа}{\%}$	
	ММВ	МКВ		изгиб	сжатие
Без засыпки	-	-	-	$\frac{2,9}{100}$	$\frac{9,7}{100}$
Речной песок ( $M_{кр}=1,38$ )	0,85	17,25	1,10	$\frac{2,7}{94}$	$\frac{9,9}{100}$
Перлитовый песок ( $\rho=167 \text{ кг/м}^3$ )	7,30	10,15	6,12	$\frac{3,2}{111}$	$\frac{11,3}{117}$
Керамзитовая пыль ( $S_{уд} = 3100 \text{ см}^2/\text{Г}$ )	6,40	7,50	12,63	$\frac{4,3}{148}$	$\frac{14,2}{146}$
Молотый известняк ( $S_{уд} = 1900 \text{ см}^2/\text{Г}$ )	6,65	8,25	9,31	$\frac{3,5}{119}$	$\frac{12,0}{124}$
Зола уноса НГРЭС	10,80	12,50	13,70	$\frac{4,4}{153}$	$\frac{14,4}{148}$

Данные, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что параметры влагоемкости ММВ и МКВ различных материалов, а также значения предложенного критерия  $K_B$  варьируются в широких пределах и априорно непредсказуемы.

Вычисленный по экспериментальным данным коэффициент корреляции между значениями критерия  $K_B$  и приростом прочности бетона, численно равный 0,94, свидетельствует о тесной, почти функциональной связи между указанными параметрами.

Из числа изученных к наиболее эффективным водопоглощающим сыпучим материалом относятся зола уноса НГРЭС ( $K_b = 13,7$ ;  $\Delta R = 48 \dots 53\%$ ) и керамзитовая пыль ( $K_b = 12,63$ ;  $\Delta R = 46 \dots 49\%$ ).

Контакт уплотняемой бетонной смеси с влагоемким сыпучим материалом технологически может быть осуществлен следующими способами:

- засыпкой бетонированной смеси сверху;
- бетонированием на подстилающем слое влагоемкого материала;
- заполнением технологических пустот в бетонированных изделиях или конструкциях сыпучим влагоемким материалом.

Реализация способа бетонирования на подстилающем слое золы уноса НГРЭС при омоноличивании стыковых швов сборных облицовок каналов [6,7] позволила на 20...25% повысить прочностные показатели материала заполнения шва и на 60% снизить его усадочные деформации.

Бетонирование с заполнением технологических пустот золой уноса НГРЭС было осуществлено при разработке способа формирования бетонных изделий [8]. При изготовлении предложенным способом пустотелых фундаментных блоков прочность бетона при сжатии повысилась на 45%. Это позволило уменьшить объем бетона на 25% по сравнению с базовым изделием.

Разработанные технологические методы бетонирования, кроме технико-экономической эффективности в сфере производства строительных изделий и конструкций, позволяют повысить степень утилизации топливных отходов ТЭС и сократить затраты на строительство и содержание золоотвалов тепловых электростанций [9,10].

### Литература

1. Шляхова Е.А., Шляхов М.А. Новый способ приготовления мелкозернистых бетонных смесей // Инженерный вестник Дона, 2015, №4

---



URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3377](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3377).

2. Шляхова Е.А. Особенности приготовления и формирования бетонных смесей на заполнителях с повышенным содержанием пылевидных и глинистых частиц: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.23.05 / Ростов-на-Дону: ДГТУ (быв. РГСУ), 1997. – 24 с.

3. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. – М.: Металлургия, 1978. -288с.

4. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов. - М.: Химия, 1982. -255с.

5. Васильев А.М. Основы техники лабораторных определений физических свойств грунта. -М.:Стройиздат, 1953.-246с.

6. Шляхова Е.А., Питерский А.М., Белов А.И., Салев С.С. Одежда каналов/ А.с. №1335620, 07.09.87. Бюл. №33.

7. Шляхова Е.А., Холостова А.И. К вопросу повышения качества мелкозернистых бетонов на мелких песках // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2110/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2110/).

8. Шляхова Е.А., Питерский А.М., Белов А.И., Способ формирования бетонных изделий/ А.с. №1377187, 29.02.88. Бюл. №8.

9. Bakharev T. Thermal behaviour of geopolymers prepared using class F fly ash and elevated temperature curing // Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. pp. 1134-1147.

10. Hardjito D. Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete. Research Report GC1 / D. Hardjito, B. V. Rangan. - Perth: Curtin University of Technology, 2005. 103 p.

### References

1. Shlyakhova E.A., Shlyakhov M.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3377](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3377).

2. Shlyakhova E.A. Osobennosti prigotovleniya i formovaniya betonnykh

---

smesey na zapolnitelyakh s povyshennym sodержaniem pylevidnykh i glinistykh chastits [Especially cooking and molding concrete mixtures with aggregates with a high content of dust and clay particles]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Rostov-na-Donu: DGTU (byv. RGSU), 1997. 24 p.

3. Zimon A.D., Andrianov E.I. Autogeziya sypuchikh materialov [Autogate bulk materials]. M.: Metallurgiya, 1978. 288p.

4. Andrianov E.I. Metody opredeleniya strukturno-mekhanicheskikh kharakteristik poroshkoobraznykh materialov [Methods for determination of structural-mechanical characteristics of powder materials]. M.: Khimiya, 1982. 255p.

5. Vasil'ev A.M. Osnovy tekhniki laboratornykh opredeleniy fizicheskikh svoystv grunta [Basic techniques of laboratory study of physical properties of soil]. M.: Stroyizdat, 1953. 246p.

6. Shlyakhova E.A., Piterskiy A.M., Belov A.I., Salev S.S. Odezhda kanalov [Clothing channels]. A.s. №1335620, 07.09.87. Byul. №33.

7. Shlyakhova E.A., Kholostova A.I. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2110/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2110/).

8. Shlyakhova E.A., Piterskiy A.M., Belov A.I., Sposob formovaniya betonnykh izdeliy [Method of molding concrete products]. A.s. №1377187, 29.02.88. Byul. №8.

9. Bakharev T. Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. pp. 1134-1147.

10. Hardjito D. Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-based Geopolymer Concrete. Research Report GC1. D. Hardjito, B. V. Rangan. Perth: Curtin University of Technology, 2005. 103 p.