

# РОЛЬ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В ФОРМИРОВАНИИ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрен принцип действия традиционных пластифицирующих добавок на основе сульфированных меламиноформальдегидных, нафталинформальдегидных и лигносульфонатных соединений. Представлены результаты исследования влияния модификаторов на реологические, физико-механические и структурные свойства цементно-песчаной системы. Определены их оптимальные дозировки.

Одним из способов улучшения комплекса реологических, физико-механических и структурных характеристик растворов смесей и растворов является введение в их состав продуктов строительной химии. Наиболее распространенная добавка, применяемая как компонент премиксов, так и отдельно, — пластификатор. Она позволяет радикально изменять свойства смеси и раствора, воздействуя практически на все показатели.

Рассматриваемые в статье пластифицирующие добавки известны с самого начала их промышленного применения, поэтому их часто называют традиционными. В зависимости от химической основы различают следующие виды пластификаторов (рис. 1–3):

- суперпластификаторы на основе сульфированных меламиноформальдегидных соединений и комплексов на их основе;
- суперпластификаторы на основе сульфированных нафталинформальдегидных соединений и комплексов на их основе;
- суперпластификаторы на основе модифицированных лигносульфонатов.

Механизм их действия упрощенно представлен на рисунке 4. Данные пластификаторы относятся к поверхностно активным веществам, молекулы которых адсорбируются на поверхности частиц цемента и формирующихся новообразований, образуя тончайший моно- или бимолекулярный слой, уменьшая межфазовую энергию сцепления и облегчая дезагрегацию частиц. Параллельно

с этим освобождается иммобилизованная вода, которая играет роль пластифицирующей смазки. Кроме того, адсорбированный слой сглаживает шероховатость частиц, уменьшая тем самым коэффициент трения между ними. Создание одноименного электрического заряда на поверхности частиц твердой фазы исключает возможность их сцепления за счет электростатических сил и тем самым снижает вязкость суспензии. В процессе гидратации постепенно прекращается отталкивающее действие одноименного электрического заряда, и строительный раствор теряет свою подвижность.

Помимо представленных выше традиционных пластификаторов разрабатываются, осваиваются и внедряются в производство модификаторы нового поколения — гиперпластификаторы, действие которых, ввиду особенностей структуры используемых полимеров, базируется на стерическом эффекте [1].

Применительно к большинству композиционных материалов основными факторами, определяющими область применения пластификаторов, являются: назначение композиции, минеральный состав вяжущего, состав пластифицирующей добавки, особенности применения модификатора, скорость адсорбции активного вещества модификатора, эффективность добавки, стабильность качественных характеристик пластификатора, технологические возможности производства смесей (в первую очередь получение гомогенизированных композиций), доступность и взаимозаменяемость, экономическая эффективность применения.

Таким образом благодаря способности повышать подвижность бетонных и растворных смесей добавки-пластификаторы в оптимальных количествах не только улучшают физико-механические свойства бетонов и растворов, но и повышают экономические показатели производства: снижается металло- и энергоемкость, сокращаются трудозатраты. Важным является возможность снижения расхода цемента при сохранении, а в отдельных случаях и улучшении свойств композиционных материалов. В последние годы стоимость цемента резко возросла, и применение пластифицирующих добавок стало экономически выгодным приемом регулирования себестоимости продукции [2].

Однако в сложившихся условиях рыночной экономики притоки производства, вследствие нестабильности и несвоевременности поставок сырьевых компонентов, приводят к значительным убыткам. Отсутствие в научно-технической литературе информации о комплексном анализе добавок данного типа различных химических основ и производителей затрудняет их рациональное замещение. Поэтому основными задачами данной работы являются исследование влияния наиболее распространенных традиционных пластификаторов различных химических основ на реологические, физико-механические и структурные характеристики цементно-песчаной системы и выявление их наиболее оптимального содержания.

Рис. 1. Сульфомеламиноформальдегид

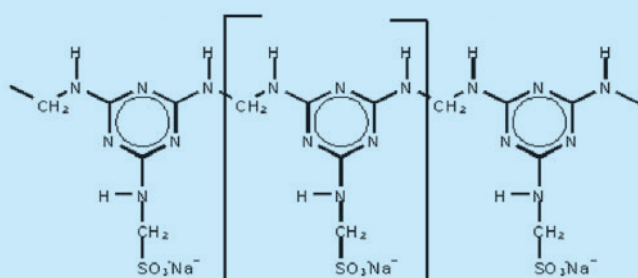


Рис. 2. Сульфонафталинформальдегид

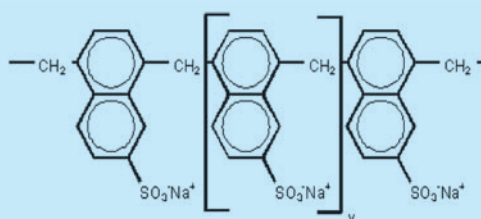


Рис. 3. Лигносульфонат технический

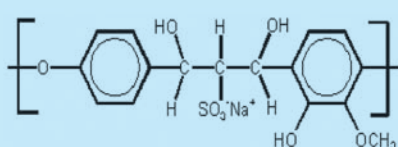


Рис. 4. Механизм действия традиционных пластификаторов

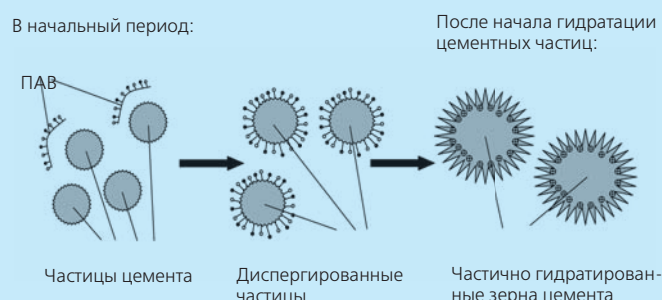
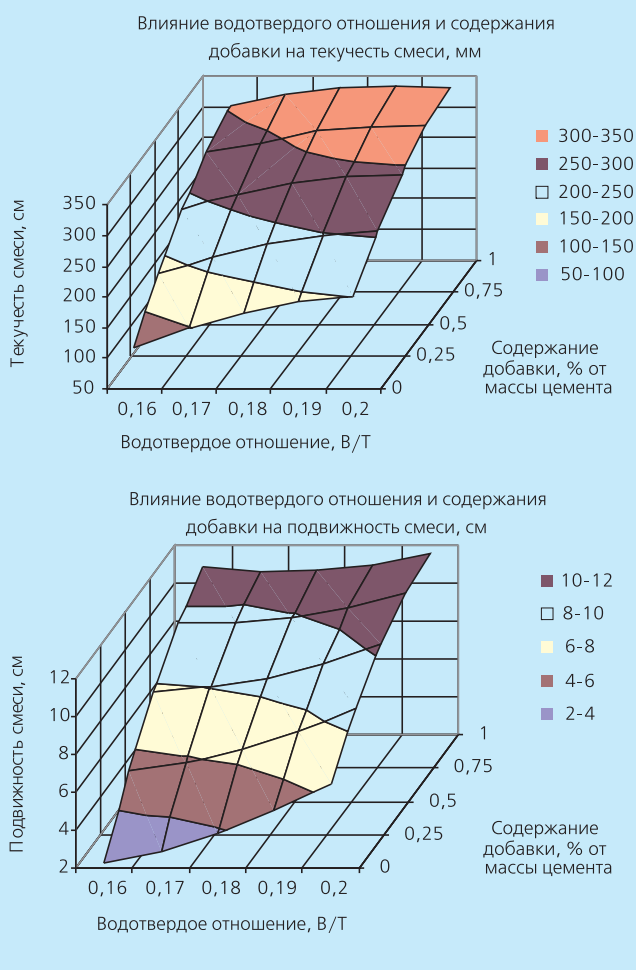


Рис. 5. Изоповерхности текучести и подвижности модифицированной цементно-песчаной системы



В качестве исходных компонентов использованы: цементно-песчаная смесь, содержащая 25 % цемента (ПЦ 500 – Д 0) и 75 % кварцевого песка, и порошковые пластификаторы (С-3, Peramin (различных марок), Гексалит, Дефомикс, ПФМ-НЛК, Реламикс, Хедитал П-5, Хедитал П-6).

Введение добавки напрямую связано с изменением водотвердого отношения, поэтому для достижения поставленных целей использован метод математического планирования с реализацией двухфакторного плана эксперимента [3]. В качестве варьируемых факторов выступали:  $X_1$  – содержание добавки и  $X_2$  – водотвердое отношение. Интервалы варьирования выбираются исходя из анализа технической литературы и рекомендаций.

Современные пластификаторы вводятся в состав строительных растворов в количестве до 1% от массы вяжущего. Водотвердое отношение составляет обычно 0,16 – 0,20.

На первом этапе исследовалось влияние порошковых пластификаторов на реологические свойства цементно-песчаной системы. Характеристики смеси определялись в соответствии с действующей нормативной документацией, за исключением текучести. Данный параметр оценивался посредством прибора Суттарда на встряхивающем столике [4]. На рисунке 5 представлены изоповерхности подвижности и текучести смеси в зависимости от количества добавки и водотвердого отношения.

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что наиболее весомым фактором повышения как подвижности, так и текучести смеси является введение пластифицирующей добавки. Увеличение количества воды затворения в меньшей степени сказывается на данных характеристиках. Так, при увеличении В/Т, без введения модификатора, с 0,16 до 0,20 текучесть и подвижность возрастают с 118 мм и 2,2 см до 201 мм и 6,4 см соответственно. Повышение дозировки модификатора до 1% при В/Т = 0,16 повысило исследуемые характеристики со 118 мм и 2,2 см до 303 мм и 10,8 см. При совместном увеличении В/Т и доли добавки до максимального значения (В/Т = 0,2 и содержание добавки 1% от массы цемента) подвижность возросла до 11,6 см, а текучесть — до 332 мм.

Важной характеристикой любой растворной смеси является живучесть, под которой понимается промежуток времени, в течение которого сохраняются ее технологические свойства. Это связано с процессами первичного структурообразования. За критерияльную оценку живучести нами принято время, за которое теряется 30% текучести.

Математическая обработка полученных результатов позволила разработать систему уравнений изменения текучести смеси во времени для каждого из исследуемых пластификаторов, представленную на примере одного из них:

$$\begin{aligned}
 Y_{30} &= 264,59 + 76,86 \cdot X_1 + 34,76 \cdot X_2 - 15,71 \cdot X_1^2 - 15,02 \cdot X_2^2 - 8,49 \cdot X_1 \cdot X_2 \\
 Y_{45} &= 255,38 + 69,1 \cdot X_1 + 38,87 \cdot X_2 - 12,03 \cdot X_1^2 - 22,81 \cdot X_2^2 - 4,55 \cdot X_1 \cdot X_2 \\
 Y_{60} &= 219,37 + 80,24 \cdot X_1 + 42,23 \cdot X_2 + 4,15 \cdot X_1^2 - 5,18 \cdot X_2^2 - 4,11 \cdot X_1 \cdot X_2 \\
 Y_{75} &= 210,95 + 76,79 \cdot X_1 + 47,83 \cdot X_2 + 11,04 \cdot X_1^2 - 12,92 \cdot X_2^2 + 3 \cdot X_1 \cdot X_2 \\
 Y_{90} &= 195,77 + 84,54 \cdot X_1 + 48,56 \cdot X_2 + 15,17 \cdot X_1^2 - 11,6 \cdot X_2^2 - 2,78 \cdot X_1 \cdot X_2
 \end{aligned}$$

Для состава с максимальным водотвердым отношением и минимальным количеством добавки открытое время составляет 121 минуту. Для состава с максимальным содержанием добавки и минимальным водотвердым отношением оно составляет 140 минут.

Как видно из уравнений, наиболее значимый фактор, определяющий поведение смеси во времени, — это содержание модификатора ( $X_1$ ), коэффициенты регрессии перед которым практически в два раза больше, нежели перед  $X_2$  (водотвердое отношение). Аналогия прослеживается для всех исследованных добавок.

На основании полученных данных определены оптимальные дозировки добавок исходя из реологических характеристик смеси (таблица 1).

Несмотря на то, что реологические свойства смеси характеризуют ее технологичность, не менее важными являются характеристики камня, полученного на ее основе. Поэтому следующим этапом стало исследование влияния содержания добавки и водотвердого отношения на физико-механические и структурные по-

Табл. 1. Оптимальные дозировки пластификаторов исходя из реологических характеристик смеси

Показатель	Наименование добавки									
	С-3	Реламикс	Гексалит	Дефомикс	Хедитал		ПФМ-НЛК	Peramin		
					П-6	П-5		SMF-30	SRA	SMF-10
Оптимальные интервалы дозирования, % от массы цемента	0,6–0,8	0,75–1	0,8–1	0,7–0,9	0,6–0,7	0,6–0,8	0,4–0,6	0,6–0,7	0,5–0,75	0,6–0,7

Табл. 2. Оптимальные дозировки пластификаторов исходя из механических характеристик раствора

Показатель	Наименование добавки									
	С-3	Реламикс	Гексалит	Дефомикс	Хедитал		ПФМ-НЛК	Peramin		
					П-6	П-5		SMF-30	SRA	SMF-10
Оптимальные интервалы дозирования, % от массы цемента	0,5–0,75	0,75–1	0,6–0,8	0,5–1	0,4–0,6	0,6–0,7	0,4–0,7	0,3–0,5	0,25–0,5	0,1–0,3

казатели строительного раствора. По мере твердения цементно-песчаной основы при различном В/Т соотношении и содержании модификаторов нет единой тенденции изменения изолиний как при сжатии, так и при изгибе в различные сроки твердения (7, 14 и 28 суток), что отражено на рисунке 6. По мере увеличения сроков твердения прочность однозначно возрастает, наиболее существенным фактором ее повышения является снижение В/Т соотношения. Как видно из графиков рисунка 6, в ранние сроки твердения (7 суток) увеличение содержания пластификатора в системе до 0,7% от массы цемента приводит к ускорению набора прочности, дальнейшее увеличение дозировки данного модификатора практически не сказывается на повышении прочности, и изолинии для данной части графика параллельны оси  $X_1$  (ось, отражающая содержание добавки). В возрасте 14 суток ввод добавки не сказывается на увеличении прочности системы (изолинии расположены практически параллельно оси  $X_1$ ), в то время как увеличение водо-твердого отношения с 0,16 до 0,2 приводит к значительному снижению прочностных характеристик.

На изолиниях, построенных по результатам испытания 28-суточных образцов, намечен явно выраженный экстремум для фактора  $X_1$ . Введение модификатора в количестве до 0,5% приводит к возрастанию прочности системы при изгибе, дальнейшая его дозировка снижает ее. Прочность при сжатии снижается на всем интервале дозирования.

Для представленного модификатора рациональная дозировка, исходя из кинетики набора прочности, составляет от 0,4 до 0,7% от массы цемента. Интервалы дозирования для каждого порошкового пластификатора, исходя из физико-механической реорганизации

Рис. 6. Изолинии прочности при сжатии и изгибе цементно-песчаной системы, модифицированной порошковым пластификатором в различные сроки твердения

Предел прочности при сжатии, МПа      Предел прочности при изгибе, МПа

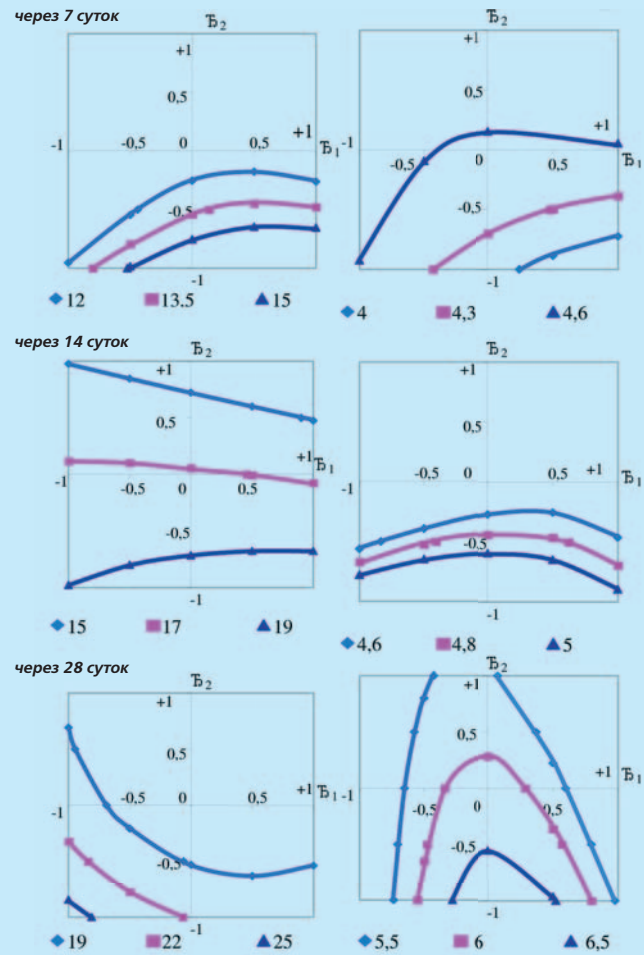
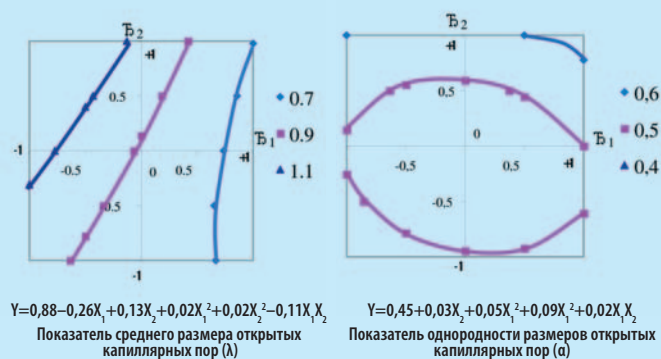


Рис. 7. Влияние пластификатора на структурные характеристики цементно-песчаной системы



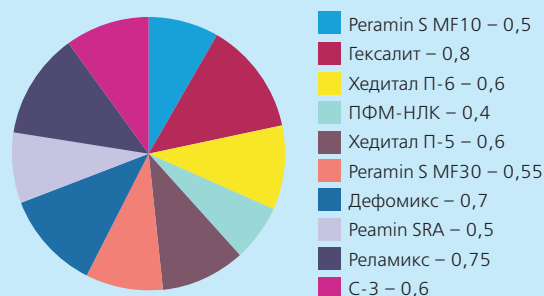
цементно-песчаной системы, представлены в таблице 2. В качестве критериев оценки выступали показатели  $R_{сж}$  и  $R_{изг}$ .

Изменение прочности системы происходит под влиянием как водо-твердого отношения, так и количества пластифицирующей добавки. Если повышение В/Т однозначно уменьшает прочность, то влияние модификаторов не однозначно. В ряде случаев наблюдается так называемый «эффект передозировки», то есть при превышении оптимального количества добавки в системе происходит падение показателей пределов прочности при сжатии и изгибе.

Исследование реорганизации структуры по мере модификации минеральной части пластификаторами и изменения водо-твердого отношения позволяет судить об ее оптимальности и уточнить рациональные дозировки добавок. Изучение структуры порового пространства камня проведено по кинетике водопоглощения путем дискретного взвешивания предварительно высушенных образцов в процессе их водонасыщения через 0,25 и 1 ч после погружения высушенного образца в воду, а затем через каждые 24 ч до постоянной массы [5]. Полученные результаты позволили построить изолинии влияния порошковых пластификаторов на структурные характеристики цементно-песчаного раствора. Изолинии представлены на рисунке 7 (на примере одной из добавок).

Тенденция изменения показателей пористости по коэффициентам среднего размера и однородности открытых капиллярных пор аналогична для всех видов исследованных пластификаторов. С увеличением содержания добавок снижается средний размер пор, однако это ведет к ухудшению однородности порового пространства. На основании этого можно утверждать, что содержание пластификаторов должно быть минимальным, но достаточным для достижения необходимых реологических и физико-механических характеристик смеси и раствора. По результатам исследования влияния порошковых пластификаторов на свойства цементно-песчаной системы определены оптимальные дозировки добавок, сравнительная

Рис. 8. Сравнительная доля оптимальных дозировок пластифицирующих добавок различных химических основ, % от массы цемента





доля которых отражена на диаграмме рисунка 8. Проведенные исследования позволяют произвести правильный выбор вида и количества пластифицирующей добавки для достижения необходимых свойств смеси и при необходимости произвести равнозначную по эффективности замену одного модификатора на другой без снижения технико-экономических показателей конечной продукции. ●

**С. А. ДЕРГУНОВ**, к. т. н., старший научный сотрудник  
Управления научных исследований и сертификации,  
**В. Н. РУБЦОВА**, к. х. н., доцент, зав. кафедрой «Технология  
строительных материалов и изделий».  
ГОУ ВПО Оренбургский государственный университет.

#### Литература

1. «Добавки в строительстве» (Электронный ресурс). <http://www.bramber.ru/65.htm>.

2. Батраков В. «Большие возможности модификаторов бетона» (Электронный ресурс). <http://www.stroinauka.ru/d19dr1738m6.html>.

3. Баженов Ю. М. «Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона». / Ю. М. Баженов, В. А. Вознесенский // Учебник для вузов. — М.: «Стройиздат», 1974.

4. Дергунов С. А. «Модификация сухих строительных смесей». / С. А. Дергунов, В. Н. Рубцова // 6-я Международная научно-техническая конференция «Современные технологии сухих смесей в строительстве Mix BUILD»/Сборник докладов: Академический научно-технический центр «АЛИТ», Санкт-Петербург, 2004, с. 30–35.

5. ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения». Введ. 1980-01-01 (Электронный ресурс) / Приложение КОДЕКС версии 5.1.1.19 (32 bit) //ООО «Альфа Кодекс» /Лицензия на ПК КОДЕКС для Windows и Dos (сетевой вариант) //ГОУ Оренбургский государственный университет /Мастер-версия: False.

## НОВОСТИ

### НИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ: ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ROCKWOOL ПРОСЛУЖИТ НЕ МЕНЕЕ 50 ЛЕТ

Научно-исследовательский институт строительной физики провел испытания продукции ROCKWOOL.

Результаты тестов говорят об их долговечности (срок службы не менее 50 лет без эмиссии волокон) и возможности применения в конструкции вентилируемого фасада без ветрозащитных пленок.

Материалы ROCKWOOL ВЕНТИ БАТТС, ВЕНТИ БАТТС Д и ЛАЙТ БАТТС были исследованы на эмиссию волокон после их искусственного состаривания.

Образцы материалов подверглись воздействию повышенной температуры (121 °С), 100 %-ной влажности, избыточного давления, а затем обдуву мощным потоком воздуха.

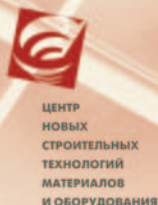
Институт установил, что эмиссия волокон материалов ROCKWOOL ВЕНТИ БАТТС и ВЕНТИ БАТТС Д, применяемых в конструкции вентилируемого фасада, будет отсутствовать в течение не менее 50 лет.

Также для материалов ROCKWOOL были определены показатели максимальной гигроскопической (сорбционной) влажности по методике ГОСТ 24816-81 «Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности».

Полученные значения свидетельствуют о малой способности материала поглощать водяной пар из атмосферы.

Теплоизоляция может использоваться в конструкциях при непосредственном контакте с воздухом.

Влажность протестированных продуктов ROCKWOOL не превышает 2 % по массе, что ниже показателя, предусмотренного СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».



ЦЕНТР  
НОВЫХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ  
МАТЕРИАЛОВ  
И ОБОРУДОВАНИЯ



ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ  
МОСКОМАРХИТЕКТУРА



ДОМ НА БРЕСТСКОЙ  
архитектурно-строительный центр

ПРЕДСТАВЛЯЮТ:

ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА  
ПО СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ  
И ОБОРУДОВАНИЮ

**CoCoMat**  
[www.cocomat.ru](http://www.cocomat.ru)

#### База CoCoMat:

разработана по поручению  
Правительства Москвы;

является **единственным  
официальным информационным  
ресурсом** для городских проектных и  
строительных организаций;

содержит систематизированную  
подборку информационных,  
технических материалов и  
сертификатов соответствия на  
продукцию;

материалы, содержащиеся в  
базе CoCoMat, **включены в реестр  
продукции, рекомендованной для  
применения в проектировании и  
строительстве;**

ежедневно базу CoCoMat посещают  
более тысячи пользователей.

Приглашаем  
принять участие!

125047, МОСКВА, УЛ. 2-АЯ БРЕСТСКАЯ, Д. 8, ТЕЛ. (495) 251 5525, (499) 6505005, 252 22 76  
E-MAIL : CONCENTRE@DOM6.RU, CLUB@DOM6.RU; WWW.COCOMAT.RU, WWW.CONCENTRE.RU