

УДК 502/504 : 691.535

**МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Поступила 19.11.2015 г.

© **Л. С. Гуринович, Б. А. Усов**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», г. Москва

**THE MECHANOCHEMICAL TREATMENT OF THE BUILDING MATERIALS**

Received November 19, 2015

© **L. S. Gurinovich, B. A. Usov**

Moscow State University of Mechanical Engineering, Moscow

Статья посвящена получению активированных добавок и цементов, повышению качества или получение новых строительных материалов с применением роторно-пульсационных аппаратов (РПА). Также рассмотрена эффективность использования РПА. В результате работы были получены различные активированные в РПА химические добавки для бетона из труднорастворимых в воде продуктов, установились отличительные особенности растворов пластифицирующих и комплексных добавок, обработанных в РПА. Показано, что приготовление бетонной смеси с применением активированных материалов в РПА позволяет уменьшить трудозатраты при изготовлении изделия, сократить расход цемента, расход добавок пластификаторов, расход воды, ускорить твердение и повысить прочность и долговечность бетона. Отмечается, что при изменении количества добавки в растворе и времени механохимической обработки становится возможным управлять технологическими параметрами бетонной смеси (подвижность, жесткость) и тем повышать прочность бетона. При содержании добавки ПДО 0,15% и времени активации 5 мин. повышение прочности составило 60 кг/см<sup>2</sup>. При повышении количества активированной добавки до 1 % прочность в бетоне увеличивалась, в то время как введение этого же количества добавки без активации способствовало понижению прочности ниже без добавочных значений.

Ключевые слова: роторно-пульсационный аппарат (РПА), активированные добавки, пластифицирующие добавки, бетонная смесь.

The article is devoted to the obtaining of activated additives and cements, to improve the quality or the obtaining of new building materials using rotary pulsation apparatus (RPA). It also considers the efficiency of the RPA. As a result the works were obtained in different activated in the RPA chemical additives for concrete from sparingly soluble in water products established distinctive features of the solutions of plasticizers and complex additives, treated in the RPA. It is shown that the preparation of concrete with the use of activated materials in the RPA to reduce labor costs in the manufacture of a product, reduce the consumption of cement, flow additives, plasticizers, water consumption, accelerate hardening and to increase strength and durability of concrete. It is noted that when changing the amount of additives in the solution and time of mechanochemical treatment, it becomes possible to control the technological parameters of concrete mixture (mobility, stiffness) and thus increase the strength of concrete. When the content of additives PDO 0.15% and activation time of 5 minutes the increase in strength was 60 kg/cm<sup>2</sup>. With increasing number of activated additives up to 1 % strength in concrete was increased, while the introduction of the same amount of additives without activation promoted a decrease in strength below without additional values.

Keywords: rotary pulsation apparatus (RPA), activated additives, plasticizers, concrete mix.

Активация – усиление активности какого-либо процесса[1]. В настоящее время известно много способов активации добавок, цементов и заполнителей к бетону.

Представление об активации возникло в 70–80-х годах 19 в. в результате работ Я. Вант-Гоффа и С. Аррениуса, посвященных изучению влияния температуры на скорость химической реакции.

Активирование цемента сглаживает недостатки их поверхностных свойств и повышает скорость гидратации. Для строительной промышленности не существует надежной специальной техники по активированию материалов[2].

Проведенный в самом общем виде анализ процессов измельчения отмечает недостатки существующих методов приготовления дисперсных систем, но в

то же время и позволяет наметить пути к разработке высокоэффективной техники и универсальной технологии.

Необходима технология и техника, которые совместили бы процессы тонкого диспергирования, смешения и гомогенизации.

К комплексным способам интенсификации указанных процессов следует отнести применение роторно-пульсационных аппаратов (РПА), имеющих активный гидродинамический режим [3], большое поле механических колебаний широкого диапазона частот и другие явления, сочетаемые с механическим воздействием на частицы дисперсной фазы (диспергирование, деформации, резание). Роторно-пульсационные аппараты с активным гидродинамическим режимом широко применяются в фармацевтической

промышленности [4] при приготовлении новых лекарственных препаратов, эмульсий и суспензий из трудно смешиваемых продуктов.

В строительных смесях (бетонных, растворных, облицовочных и др.) широкое применение находят химические добавки (отходы промышленности) и специально приготавливаемые продукты, например, суперпластификаторы. В процессе их приготовления, либо в период подготовки к использованию на заводах ЖБИ [5], растворы этих продуктов проходят ту или иную механохимическую обработку. С этой позиции специальных обобщающих работ по анализу и эффективности работы оборудования и установок в целом не имеется.

Химические добавки оказывают существенное влияние на свойства бетонной смеси, как на стадиях приготовления бетонной смеси, ее транспортирования, укладки и уплотнения, так и при твердении бетона. Введение их значительно улучшает физико-технические и технико-экономические свойства бетона при одной и той же технологии производства изделий.

Для получения активированных добавок и цементов, повышения качества или получение новых строительных материалов применяют роторно-пульсационные аппараты (РПА). Повышение качества или получение новых строительных материалов возможно за счет повышения активности исходных компонентов еще до введения в состав или непосредственно в составах исходных смесей при вибро-импульсной обработке материалов в РПА.

Эффективность использования РПА определяется возможностью оперативного контроля степени активации обрабатываемых сред. Также эффективность использования РПА определяется совокупностью гидромеханических явлений, которые зависят от градиента скорости потока обрабатываемой среды.

Различные модификации роторно-пульсационных аппаратов (РПА) широко используют для приготовления многокомпонентных составов из трудно смешиваемых сред (различные эмульсии, пластифицирующие добавки и замедлители твердения бетона, активированная водная суспензия и глина). Путем пульсационного и ударного, гидродинамического воздействия на смешиваемые среды, достигается не только перемешивание и измельчение, но и изменение физико-механических свойств производимых продуктов. При вращении рабочих органов возникает колебания и кавитация

с образованием пузырьков заземленного воздуха.

При недостатке цементного теста для заполнения в условиях перемешивания в бетонную смесь вовлекается значительный объем мельчайших пузырьков воздуха, которые, увеличивая объем цементного теста, способствуют заполнению межзернового объема пустот. При дальнейшем уменьшении содержания цементного теста объем и размеры пузырьков вовлекаемого воздуха увеличиваются, возникают большие разрывы и неплотности. При «схлопывании» пузырьков выделяется большое количество локальной энергии, изменяющей свойства обрабатываемой жидкой среды по отношению к поверхности твердых частиц.

Вследствие постепенного характера изменения структур бетонной смеси границы между структурами условно сдвигаются с изменением свойств цемента, заполнителя, подвижности бетонной смеси, методов формования и других факторов. Для описания гидродинамических процессов используют законы сохранения массы, энергии и количества движения (импульса).

Для разработки технологических способов применения РПА в производстве строительных материалов достаточно следующее допущение. Большинство реальных жидкостей в период их существования относятся к ньютоновским (с вполне определенной структурой, отклоняющейся от состояния равновесия в период механического воздействия, что успешно осуществляется в рабочей камере РПА).

Микроскопические и физико-химические исследования подтверждают справедливость этих представлений. В связи с этим ставятся задачи получения в РПА суспензий, эмульсий из систем: «твердый порошок + жидкость», «жидкость + жидкость», «масло + вода» и всевозможных сочетаний подобного вида разновидностями для получения гетерогенных смесей в производстве строительных материалов.

Ранее авторами была получена высококонцентрированная эмульсия концентрации 20...30 % в воде из кубовых остатков синтетических жирных кислот (КОСЖК). Концентрация обычной эмульсии не превышала 3 %.

Кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» ФГБОУ ВО МАМИ проводятся работы по получению различных активированных в РПА химических добавок для бетона из труднорастворимых в воде продуктов, устанавливаются отличительные особенности растворов

пластифицирующих и комплексных добавок, обработанных в РПА, а также разработка технологий их получения непосредственно при производстве бетонных смесей, и, наконец, улучшение свойств зольных, шлаковых, песчаных и других суспензий водными растворами пластифицирующих или ускоряющих

твердение добавок. Последнее представляет собой химическую обработку существующих промышленных отходов. Влияние активированной пластифицирующей добавки ПДО (после дрожжевого остатка – отхода пищевой промышленности) в РПА на бетонные смеси показано в таблице 1.

Таблица 1

**Продолжительность обработки растворов добавками ПДО в РПА  
во влиянии их на свойства смесей и бетона**

Водоцементное соотношение В/Ц	Добавки, % массы цемента	Осадка конуса, см	Жесткость, с	Время активации, мин.	Прочность на сжатие, МПа
0,5	–	3	4	–	20,8
0,5	0,075	1	12	–	26,5
0,5	0,15	1,5	8	–	23,7
0,5	0,20	1	10	–	21,2
0,5	0,075	1,5	2	5	24,1
0,5	0,15	1	4,5	5	30,4
0,5	0,20	0,5	5	5	26,9
0,5	0,075	1	8	10	29,5
0,5	0,15	2	6	10	27,0
0,5	0,20	2,5	4	10	24,2
0,4	–	0	15	–	31,3
0,6	–	5,5	2	–	19,8
0,5	1	9	2	–	19,6
0,5	1	5	3	10	25,5

Увеличение прочности бетона в результате применения активированного цемента позволяет сократить режим тепловой обработки. Приблизительная продолжительность пропаривания бетона с долей активированного цемента определяется по следующей формуле:

$$T_a = T - K T (R_6^a - R_6),$$

где  $T_a$  – продолжительность режима тепловой обработки бетона без активированного цемента;  $K$  – коэффициент, принимаемый равным 0,02; 0,03 и 0,04;  $R_6$  – прочность бетона.

Смеси с В/Ц = 0,5 приготавливались на Воскресенском портландцементе марки 400; гранитном щебне фракции 5...20 мм; кварцевом песке с модулем крупности  $M_k = 1,83$ . Режим тепловой обработки составлял 2 + 3 + 6 + 3 (предварительное выдерживание + подъем температуры 75...85 °С + остывание до 20 °С) час. Определение прочности бетона выполнялось по ГОСТ 10180. Показатели подвижности и жесткости устанавливались по ГОСТ 10181. Число оборотов в РПА конструкции Главмоспромстройматериалов соответ-

ствовала 2900 об./мин. Добавка ПДО вводилась в бетон в количестве 0,75, 0,15 и 0,2 % соответственно от массы цемента. Время активации составило 5 и 10 мин.

Из данных таблицы 1 видно, что при активации в течение 5 мин. прочность бетона соответствует максимуму при содержании добавки 0,15 % от массы цемента. В течение 10 мин. обработки прочность падает. С целью изучения влияния повышенного количества добавки проводились дополнительные опыты с содержанием ПДО в количестве 1 % при времени активации 10 мин. Прочность бетона при этом увеличивалась.

Из таблицы 1 также видно, что введение добавки в количестве 0,075 % соответствует изменению жесткости, а в количествах 0,15 и 0,2 % эта зависимость изменялась на обратную. Однако показатель пластичных смесей (осадка конуса 1...3 см) сравнительно мало изменялась от количества добавки и в продолжительности активации.

В тоже время при механохимической

обработке ПДО в РПА плотность ее раствора понижается в обратно пропорциональной зависимости времени активации. Так, если плотность исходного растворов добавки составлена 1,055 г/см<sup>3</sup>, то после активации в течение 5 минут уменьшалась до 1,042 г/см<sup>3</sup>, а через 10 мин – 1,031 г/см<sup>3</sup>.

Последнее обстоятельство связано с вовлечением воздуха при перемешивании в РПА. Время, в течение которого восстанавливалась плотность раствора до исходных значений, составило

1–1,5 месяца. Приготовление бетонной смеси с применением активированных материалов в РПА позволяет уменьшить трудозатраты при изготовлении изделия, сократить расход цемента, расход добавок пластификаторов, расход воды, ускорить твердение и повысить прочность и долговечность бетона. По результатам испытаний образцов из бетона с долей активированного цемента и уменьшенным расходом цемента (таблица 2) видно, что оптимальным является состав с 30 % активированного цемента.

Таблица 2

## Прочность бетона с долей активированного цемента в 2012...2014 годах

Количество активированного цемента, %	Предел прочности образцов естественного твердения через:			
	7 сут.		28 сут.	
	МПа	%	МПа	%
0	26,2	75	35,2	100
20	22,4	64	31,5	90
30	25,8	74	35,4	101
40	21,1	60	29,3	84

**Выводы**

Меняя количество добавки в растворе и время механохимической обработки можно управлять технологическими параметрами бетонной смеси (подвижность, жесткость) и тем повышать прочность бетона.

При содержании добавки ПДО 0,15 % и времени активации 5 мин. повышение прочности составило 60 кг/см<sup>2</sup>.

При повышении количества активированной добавки до 1 % прочность в бетоне увеличивалась, в то время как введение этого же количества добавки без активации способствовало понижению прочности ниже без добавочных значений.

Изменение плотности активированных растворов добавки объясняется вовлечением в них воздуха.

*Библиографический список*

1. Усов Б. А. Турбулентная активация цемента // Вестник МГОУ. – 2009. – № 1(3).
2. Ружинский С. И. Виброактивация

цемента // Популярное бетоноведение. – 2006. – № 1(9).

3. Липилин А. Б., Коренюгина Н. В., Векслер М. В. Селективная дезинтеграторная активация портландцемента (СДАП) // Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 74–76.

4. Балабудкин М. А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. – М.: Медицина, 1983.

5. Ахвердов И. Н., Плющ Б. А., Глуценко В. М., Каплан Э. Л. Акустическая технология бетонов. – М.: Стройиздат, 1976.

**Сведения об авторах**

*Усов Борис Александрович, кандидат технических наук (e-mail: boris\_40@list.ru)*

*Гуринович Любовь Сергеевна, ведущий инженер*

**Information about the authors**

*Usov Boris Aleksandrovich, candidate of technical sciences (e-mail: boris\_40@list.ru)*

*Gurinovich Liubov Sergeevna, leading engineer*