

Приведені результати експериментального дослідження за оцінкою можливості виробництва різного роду матеріалів із золи-уноса теплоелектростанцій на основі мінерального нецементного терпкого, за основу якого вибране фосфатно-магнієве терпке

Ключові слова: зола-уноса, теплоелектростанція, фосфатно-магнієве терпке, наномодифікатори

Приведены результаты экспериментального исследования по оценке возможности производства различного рода материалов из золы-уноса теплоэлектростанций на основе минерального нецементного вяжущего, в качестве основы которого выбрано фосфатно-магниевое вяжущее

Ключевые слова: зола-уноса, теплоэлектростанция, фосфатно-магниевое вяжущее, наномодификаторы

Results over of experimental research are brought as evaluated by the manufacturability of different sort of materials from ash-taking away of thermal power-stations on the basis of mineral unceiment astringent, as basis of which the phosphatic-magnesium astringent is chosen

Keywords: ash-taking away, thermal power-stations, phosphatic-magnesium astringent, nanomodifiers

РЕМОНТНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА МИНЕРАЛЬНОМ НЕЦЕМЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОСА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А. Д. Тевяшев

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

Кафедра прикладной математики
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166
Контактный тел.: (057) 702-14-36
E-mail: tevjshev@kture.kharkov.ua

Е. С. Шитиков

Кандидат химических наук
Москва, ООО «Полигран»,
г. Москва, Россия
Контактный тел.: (107-495) 357-78-43
E-mail: esh_45@mail.ru

Введение

При сжигании порошкообразных углей в высокотемпературных топках современных теплоэлектростанций (ТЭС), содержащиеся в углях минеральные включения (кварц, шпат, глина и др.), расплавляясь, перемещаются в низкотемпературные зоны топок, где затвердевают в виде сферических частиц и шлаковых агломератов. Мелкие фракции уносятся отходящими газами и улавливаются в циклонах (т.н. зола-унос) и электрофильтрах (микрокремнезем). Ежегодно в мире количество таких техногенных отходов увеличивается на 100 млн тонн, растет площадь, занимаемая отвалами, и, соответственно, увеличивается нагрузка на экологию окружающей среды.

В строительной индустрии зола-унос ТЭС и микрокремнезем используется в производстве некоторых марок цементобетонов (например, микрокремнезем

– в бетонах повышенной прочности), но их количество ограничивается 20% от массы портландцемента в бетонах, т.е. лишь 5% от массы бетона. Причина этого кроется в низкой пуццолановой активности золы-уноса ТЭС и в увеличении водопоглощения бетонными смесями с повышением содержания золы, что ведет к снижению прочности и долговечности.

В производстве лакокрасочных и теплозащитных материалов довольно широко применяются зольные микросферы, которые выделяют из шлаков ТЭС при гашении их водой.

Целью данной работы является анализ результатов поисковых исследований по оценке возможности производства различного рода материалов из золы-уноса ТЭС на основе минерального нецементного вяжущего, в качестве основы которого выбрано фосфатно-магниевое (ФМ) вяжущее. Выбор ФМ-вяжущего определялся такими характерными его особенностями, как

быстрое схватывание и быстрый набор прочности при комнатных температурах без применения каких-либо дополнительных мер (что требуется, например, для материалов на основе портландцемента) и высокая адгезия к металлам и бетонам [1].

1. Анализ исходных данных

Для проведения исследования свойств ремонтно-строительных материалов на минеральном нецементном вяжущем с использованием золы-уноса теплоэлектростанций было проведено несколько серий опытов, в которых использовались: зола-унос Рефтинской и Троицкой ТЭС; микрокремнезем и зольные микросферы; песок речной; щебень гранитный; шамот (обожженный); шунгит (измельченный); стеклянные микросферы; базальтовая и целлюлозная микрофибра; ультрадисперсные (нано)модификаторы.

Химический состав золы –уноса Троицкой ТЭС был следующий:

окись кремния - 58,1%, окись алюминия – 26,6% , окись железа общего – 4,9%, окись железа закисного – 1,3% , окись кальция – 3,68%, окись магния – 0,81% , окись калия – 0,75% , окись натрия – 0,58% , окись фосфора – 0,65% , углерод общий – 1,6% , сера общая – 0,08%.

Размеры частиц золы-уноса находились в диапазоне от 0,3 до 300 микрон при наиболее вероятной величине 30 микрон. Удельная поверхность составляла 1,944 м²/г. Насыпная плотность – 800 кг/ м³.

Химический состав золы –уноса Нижнетагильской ТЭС имел близкие показатели. Частицы микрокремнезема имели размеры менее 20 микрон, насыпная плотность составляла 220 кг/м³. Зольные микросферы имели размеры менее 200 микрон, а насыпная плотность была 330 кг/м³.

Стеклянные микросферы имели размеры менее 100 микрон при насыпной плотности 130 кг/м³. Базальтовые и целлюлозные микроволокна использовались для повышения трещиностойкости и более равномерного распределения микродобавок по объему материала. Количество микрофибры ограничивалось 5-10% от массы ФМ-вяжущего.

Для активации системы и получения дополнительных свойств материалов применялись наномодификаторы, такие, как ультрадисперсные (нано)частицы металлов (вольфрама и кобальта – в виде порошка) (ИМет РАН, г. Москва), окиси кремния (НИГТЦ ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский), «наноалмазы» - в виде 5% водных золей и порошка УДА-С (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск), а также «аддукт» НТЦ «Прикладные нанотехнологии» (г. Санкт-Петербург) – водорастворимая форма природных астраленов, выделенных из шунгита. Количество вводимых наномодификаторов находилось в пределах 0,002 ... 0,02% от массы ФМ-вяжущего.

2. Анализ результатов проведенных экспериментов

Анализ результатов проведенных экспериментов позволил сделать следующие выводы:

1. Замесы золы-уноса с фосфатно-магниевым (ФМ) вяжущим показали, что зола существенно ускоряет время начала схватывания материала – с 50-60 минут от начала смешения с водой до 20-25 минут, и при содержании золы до 40% от общей (сухой) массы повышает вязкость и адгезию. При содержании золы более 50% адгезия резко снижается, масса становится высоковязкой, но пластичной и сохраняющей любую придаваемую форму.

Из замешанной массы далее приготавливались образцы материалов в виде стандартных балочек 4x4x16 см, которые по истечении определенного времени испытывались на прочность при сжатии и изгибе. В табл. 1 приведены некоторые характерные данные по прочности образцов различного состава материалов с золой-уносом ТЭС при сжатии.

Таблица 1

Изменение прочности при сжатии образцов материалов на основе ФМ-вяжущего и золы уноса ТЭС от времени твердения и состава материалов

№ п/п	Состав материала	Плотность кг/м ³	Прочность при сжатии, Мпа		
			через 2с (с наномодиф.)	через 3с (без наномодиф.)	Через 28с
1.	ФМ- вяжущее-100%	2000		49,3	59,7
2.	ФМ-вяжущее-100%	2030	55,1		74,3
3.	ФМ-вяжущее-25%				
	Песок речной-75%	2040		20,4	38
4.	ФМ-вяжущее-20%				
	Песок речной-60%				
	Зола-унос- 20%	2190	39,2		49,6
5.	ФМ-вяжущее-60%				
	Зола-унос- 40%	1770	39,6		56,7
6.	ФМ-вяжущее-50%				
	Зола-унос – 50%	1760	36,7		52,3
7.	ФМ-вяжущее-40%				
	Зола-унос – 60%	1700	31,6		48,8
8.	ФМ-вяжущее-33%				
	Зола-унос – 67%	1600	29		45,5
9.	ФМ-вяжущее -30%				
	Зола-унос – 40%				
	Микросферы				
	зольные - 30%	1200	16,4		32

Результаты опытов подтвердили, что уже в первые сутки после приготовления бетонной смеси прочность, как правило, достигает не менее 50% от прочности в стандартные 28 суток.

Из анализа результатов, представленных в табл. 1, также следует, что на основе золы-уноса и фосфатно-магниевого вяжущего возможно изготовление строительных материалов самого различного назначения, например, в форме кирпичей. Отличительной особенностью таких материалов может быть повышенная прочность при пониженной плотности. Так, например, кирпичи стандартных размеров из разрабатываемых материалов при одинаковой прочности будут иметь в

1,5-2 раза меньший вес. Ввиду короткого времени до распалубки форм или снятия опалубки при монолитном бетонировании, использование золы-уноса с ФМ-вяжущим может значительно ускорить изготовление строительных материалов на их основе и сократить сроки возведения малоэтажных бетонных сооружений.

Дополнительно были проведены эксперименты с использованием в качестве наполнителя гранитного щебня, в ходе которых изготавливались образцы бетонов стандартных размеров 10x10x10 см, 10x10x40 см и 15x15x15 см. И следует отметить, что прочностные и другие механические характеристики материалов повышались при использовании гранитного щебня в количестве до 200% к массе ФМ-вяжущего.

2. Результаты исследование теплоизоляционные свойства материалов с золой-уносом также представляют определенный научно-практический интерес, особенно при дополнительном использовании зольных микросфер, которые сохраняют прочность при более высоких температурах по сравнению со стеклянными микросферами одной и той же насыпной плотности.

В таких материалах особенно эффективно было введение наномодификаторов, которое способствовало повышению прочности и дополнительному разжижению смеси (увеличению подвижности) при возможности введения в смесь большего количества (на 20-30%) микросфер.

Теплопроводность образцов материалов определялась по ГОСТ 7076 с помощью прибора ИТП-МГ4, предназначенного для измерения коэффициента теплопроводности строительных материалов в диапазоне 0,01...1,5 Вт/м град. В ходе проведения испытаний определялась величина установившегося теплового потока, проходящего перпендикулярно к плоским поверхностям образцов, измерение толщины образцов и температур на поверхностях противоположных граней.

Такие измерения проводились:

- при температуре «нагретой» поверхности +30°C образцов площадью 100см² и толщиной от 15 до 28 мм,
- при температуре нагретой поверхности +60°C образцов площадью 64 см² и толщиной от 4 до 60 мм.

Некоторые характерные результаты приведены на рис. 1, где ряд 1 отвечает материалам «ФМ-вяжущее + зольные или стеклянные микросферы с насыпной плотностью 130 кг/м³» плотностью от 1050 до 1120 кг/м³, ряд 2 – материалам «ФМ-вяжущее + зольные микросферы с насыпной плотностью 330 кг/м³ + зола-унос» плотностью 1200-1250 кг/м³ (при оптимальных соотношениях компонентов с точки зрения наиминшей теплопроводности), а ряд 3 – материалам «ФМ-вяжущее + зольные микросферы с насыпной плотностью 330 кг/м³» плотностью 1200-1250 кг/м³. Видно, что материалы с микросферами самой низкой насыпной плотности имеют и самые низкие теплопроводности, а добавление золы-уноса к материалам с микросферами с насыпной плотностью 330 кг/м³ существенно - на 20-30%- снижают теплопроводность образцов только с микросферами.

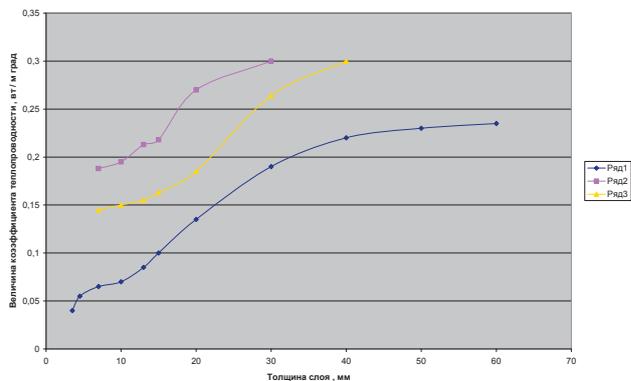


Рис. 1. Зависимость величины коэффициента теплопроводности от толщины теплоизоляционного слоя

Для теплоизоляционных материалов на основе ФМ-вяжущего, золы-уноса и микросфер характерным оказалось наличие минимума теплопроводности в зависимости от плотности материала (рис. 2), а также неизменяемость величин теплопроводности с ростом температуры (по меньшей мере, до +250°C).

Из данных рис. 1 также можно заметить, что величина коэффициента теплопроводности при толщине материалов на основе ФМ-вяжущего до 13 мм и выше 40 мм изменяется относительно мало, в то время как в диапазоне 13-20 мм происходит резкий рост коэффициента теплопроводности, что, видимо, связано со сменой режимов теплопереноса. В пользу этого предположения может свидетельствовать, например, сравнение зависимостей температуры наружной поверхности теплоизоляции от толщины слоя изоляции (при постоянной температуре на нагретой стороне 210°C) – (рис. 3) наномодифицированных (ряд 2) и немодифицированных (ряд 1) образцов материалов. Максимальная разница между величинами температуры на поверхности приходится на толщину 7 мм (-27°C), а при толщинах более 13 мм (-19°C) эта разница резко уменьшается до -12°C при толщине 20мм и -9°C при толщине 40 мм. Кроме того, при проведении специальной серии опытов в нестационарных режимах «нагрев-охлаждение» при толщине теплоизоляции более 13 мм были зарегистрированы пульсации температуры на наружной поверхности с амплитудой до 0,5°C и периодами порядка нескольких минут – типичные графики представлены на рис. 4 и 5. (На рис. 5 величины скорости изменения температуры нагретой поверхности слоя теплоизоляции уменьшены в 10 раз).

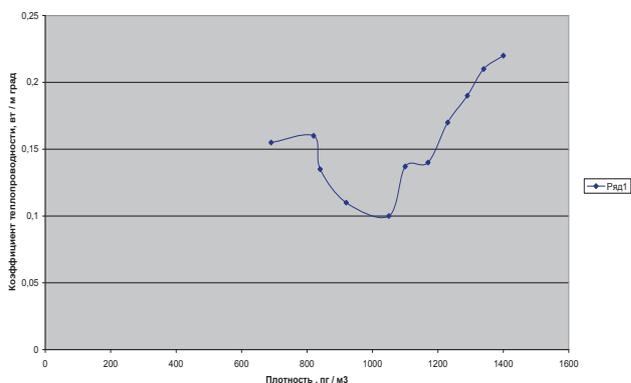


Рис. 2. Зависимость величины коэффициента теплопроводности от плотности материалов

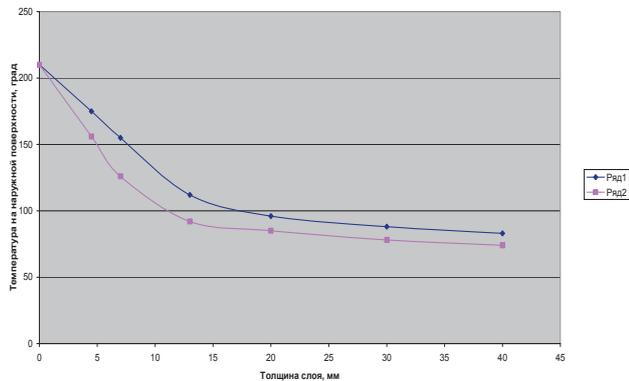


Рис. 3. Зависимость величины температуры на наружной поверхности теплоизоляции от ее толщины

Поэтому логично было предположить, что наращивание толщины материалов в задачах снижения теплотер в окружающую среду с помощью теплоизоляционных материалов с использованием золы-уноса с микросферами на основе ФМ-вяжущего выше 10 мм не является эффективным. И более целесообразным может оказаться нанесение теплоизоляционного покрытия слоями 5-10 мм с «проклеивающей» прослойкой из материала с высокой адгезией к предыдущему и последующему слоям, а также с большей плотностью и прочностью (и, соответственно, большей теплопроводностью и химической стойкостью).

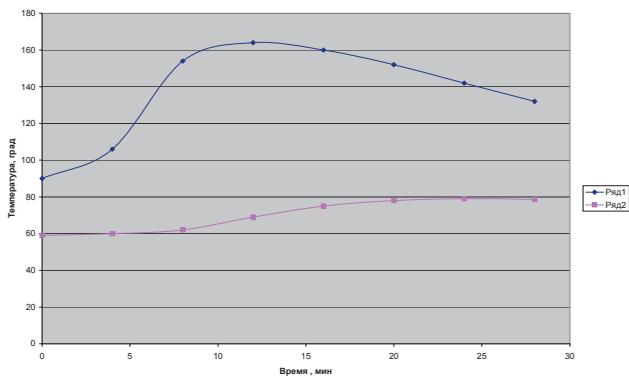


Рис. 4. Зависимость температуры нагретой и внешней поверхности слоя теплоизоляции от времени проведения опыта

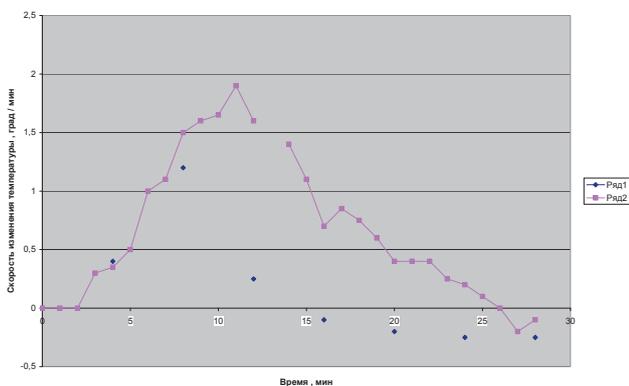


Рис. 5. Зависимость скорости изменения температур нагретой и внешней поверхностей слоя теплоизоляции от времени проведения опыта

В качестве таких «прослоек» могут быть разные материалы, в том числе и ФМ-вяжущие или материалы с ними, с добавлением золы-уноса и/или микросфер, но при их содержании, обеспечивающем достаточную адгезию и прочность. Для проверки этого предположения было проведено несколько серий опытов. Наиболее характерные результаты представлены в табл. 2.

Полученные результаты наглядно показывают, что при нанесении теплоизоляционных покрытий из материалов на основе фосфатно-магниевого вяжущего, золы –уноса и микросфер слоями, чередующимися прослойками из материалов с достаточно резко отличающимися теплофизическими свойствами, возможно снижение общей теплопроводности до величин, меньших (и даже – существенно меньших), чем наименьшее из значений коэффициента теплопроводности материалов слоев такой же толщины. А в целом такой подход должен способствовать повышению экономичности и эффективности теплоизоляционных покрытий.

Таблица 2

Изменение теплопроводности многослойных теплоизоляционных композиций в зависимости от теплофизических свойств слоев

№ пп	Общая толщина, мм	Средняя плотность, кг/м³	Толщина отдельного слоя, мм/кг/м³			Теплопроводность каждого слоя при толщине, равной общей толщине, Вт/м*град			Теплопроводность общая, Вт/м*град
			Слой 1	Слой 2	Слой 3	Слой 1	Слой 2	Слой 3	
1.	18	1430	6/2000	12/1100		0.405	0.240		0.206
2.	16	1260	6/1760	10/1000		0.300	0.200		0.158
3.	16	1260	10/1000	6/1760		0.200	0.300		0.118
4.	16	1260	6/1200	1/2000	9/1200	0.200	0.400	0.240	0.194
5.	23	1170	7/1200	4/2000	12/1100	0.270	0.440	0.240	0.169

3. Значительный интерес представляют результаты исследований особенности применения золы-уноса в композиции с ФМ-вяжущим в качестве ремонтного быстротвердеющего состава.

Универсальный быстротвердеющий ремонтный строительный состав на основе фосфатно-магнезио-шамотного вяжущего [2] с температурным диапазоном эксплуатации от -40°С до +1100°С был ранее разработан совместно ООО НПП «ПОЛИГРАН» (г.Калининград) и МАДИ (ГТУ) (г.Москва) в двух модификациях : быстротвердеющий и особо быстротвердеющий . Время схватывания первого - 30÷60 мин., а второго- 15÷40 мин. Прочность на сжатие в 28 суточном возрасте составляла 40÷60 МПа и 60÷80 МПа (при наномодифицировании 70÷120 МПа), соответственно. Главная особенность процесса твердения таких материалов – прочность резко возрастала уже в первые часы после затворения водой и через 12 часов могла достигнуть 30-50% от прочности в 28-суточный срок, как следует из результатов экспериментов, представленных на рис. 6, где:

Ряд 1 отвечает быстротвердеющему составу без наномодифицирующих добавок;

Ряд 2 - с базальтовой фиброй с адсорбированным слоем шунгита;

Ряд 3 - с базальтовой «шунгитированной»фиброй и наноалмазами УДА-С;

Ряд 4 - с золом «наноалмазов»;

Ряд 5 - с базальтовой «шунгитированной» фиброй и водорастворимым аддуктом.

Первоначальное назначение разработанного состава заключалось в проведении ремонта бетонных изделий и дорожных сооружений (мосты, тоннели, разделительные барьеры). Такие работы проводились в течение нескольких лет в г. Москве на Волгоградском проспекте и на Алтуфьевском шоссе, а также на магистрали «Москва-Минск».

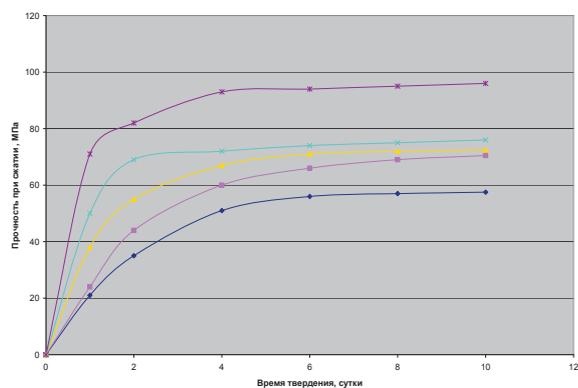


Рис. 6. Зависимость величины прочности при сжатии быстротвердеющих материалов от времени твердения

Ремонтный состав оказался достаточно стойким к изменению климатических условий и воздействию агрессивных сред – выхлопных газов автомобилей и антигололедных жидкостей, что, в целом, соответствовало результатам испытания образцов ремонтных составов (а позже и образцов теплоизоляционных материалов на ФМ-вяжущем) на химическую стойкость. Эти испытания заключались в помещении образцов в жидкую агрессивную среду (5% раствор серной кислоты (кислая среда) или 10% раствор едкого натра (щелочная среда)) и периодическом, через заданные промежутки времени, определении изменения массы образцов по отношению к величине исходной массы сразу после извлечения из агрессивной среды (водо/растворопоглощение) и после сушки образцов, а затем и определения изменения (потери) прочности высушенных образцов при сжатии. Снижение прочности (или массы) до 10 % за 7 дней пребывания в агрессивной среде свидетельствовало об очень хорошей химической стойкости, до 20% - хорошей, до 30% -удовлетворительной. Характер зависимости изменения прочности оказался типичным для фосфатно-магниевого вяжущих [1]: вначале, в первые трое суток прочность снижалась, как правило, на 10-15%, затем в течение 7-14 суток не изменялась, а далее начинала увеличиваться, как видно на рис. 7, где представлены типичные зависимости изменения прочности образцов при сжатии:

Ряд 1 отвечает изменению прочности образцов, не помещенных в раствор серной кислоты (контрольные образцы с плотностью материала 1600 кг/м³);

Ряд 2 - отвечает изменению прочности образцов, помещенных в агрессивную среду через 7 суток твердения и извлеченных из нее через 14 дней;

Ряд 3 - отвечает изменению прочности образцов, помещенных в агрессивную среду через 21 сутки после начала твердения;

Ряд 4 отвечает изменению прочности контрольных образцов плотностью 1900 кг/м³ (без добавления наномодификаторов);

Ряд 5 - отвечает изменению прочности контрольных образцов того же материала, но помещенных в раствор серной кислоты через 14 суток твердения;

Ряд 6 - отвечает изменению прочности контрольных образцов плотностью 1970 кг/м³ (наномодифицированных золом «наноалмазов»);

Ряд 7 - отвечает изменению прочности контрольных образцов, помещенных в агрессивную среду через 14 суток от начала твердения.

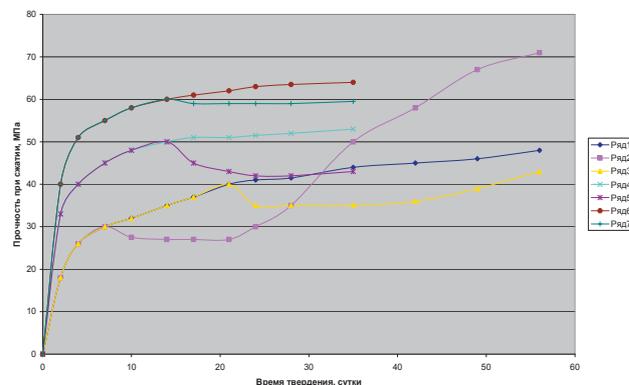


Рис. 7. Зависимость прочности образцов бетона (контрольных и помещаемых в агрессивную среду) от времени твердения

Можно сказать, что характер изменения прочности в малой степени зависел от времени от начала твердения. Но следует отметить (Ряд 2), что при извлечении образцов из агрессивной среды рост прочности был такой, что через некоторое время прочность обработанного в агрессивной среде образца становилась выше прочности контрольного образца, не помещавшегося в агрессивную среду. В ходе опытов было выявлено, что показатель химической стойкости пропорционален водопоглощению (водонасыщению) образцов.

Наномодифицирование ремонтных материалов резко снижает водонасыщение, например, при плотности материалов 1900-2000 кг/м³ с 3-4 % - у немодифицированных – до 1,5-2,5% - у наномодифицированных материалов (при использовании порошка нановольфрама - до 0%), плотность которых увеличивается при этом до 2000-2100 кг/м³ и повышает химическую стойкость (для сравнения – ряды 4-5 и 6-7 на рис. 7).

Добавление золы-уноса в ремонтный состав в количестве 20-30% от вяжущего ускорило схватывание первого состава (быстротвердеющий материал) и практически не сказалось на втором, особо быстротвердеющем материале. Понижение прочности образцов при сжатии за счет введения золы-уноса ТЭС составило в среднем 10%, но при этом следует отметить, что ремонтный состав с введением золы-уноса приобретает и новые качества – повышается адгезия к различным материалам, снижается водонасыщение (до 0,5-2%) и, соответственно, повышается химическая стойкость в кислой агрессивной среде (например, в 5%-ном растворе серной кислоты).

Выводы

Показана возможность получения на основе нецементного минерального фосфатно—магниевого вяжущего и золы-уноса теплоэлектростанций с использованием наномодифицирующих добавок:

- быстротвердеющих материалов и изделий общестроительного назначения с содержанием золы-уноса до 70% от массы материала;
- быстротвердеющих теплоизоляционных, в том числе и многослойных, материалов с пониженным коэффициентом теплопроводности и повышенной прочностью;

В статті обґрунтовано вибір показників ефективності для метода контурного управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міст, який запропоновано авторами. Наводяться результати розрахунків на прикладі міста Полтави

Ключові слова: автомобільний транспорт, вулично-дорожня мережа, транспортні засоби, організація дорожнього руху, транспортний потік

В статье обоснован выбор показателей эффективности для предлагаемого авторами метода контурного управления дорожным движением на улично-дорожной сети городов. Приводятся результаты расчетов на примере города Полтавы

Ключевые слова: автомобильный транспорт, улично-дорожная сеть, транспортные средства, организация дорожного движения, транспортный поток

In this paper we present our substantiation of choice of efficiency factors for the suggested by the authors method for road traffic path control within urban street networks. We also present calculations by the example of the city of Poltava

Key words: motor transport, street network, vehicles, road traffic control, traffic flow

Введение

В последние десять лет в Украине существенно увеличилось количество автотранспортных средств. Автомобильные заторы на магистралях города в часы пик стали обыденным явлением. Сегодня назрела острая необходимость повышения эффективности управления транспортными потоками. Создание и применение новых алгоритмов управления транс-

- быстротвердеющих универсальных безусадочных ремонтных составов для проведения разнообразных ремонтных работ, в том числе и для ремонта бетонных сооружений, находящихся под воздействием агрессивных сред.

Литература

1. Л.Г.Судакис Фосфатные вяжущие системы.- СПб: РИА «Квинтет»,2008.-260с.
2. Патент РФ № 2362752.

УДК 621.863.2

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТУРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Л.С. Абрамова

Кандидат технических наук, доцент*

Н.С. Чернобаев

Ассистент*

*Кафедра транспортных систем
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61200
Контактный тел.: (057) 707-37-06

портными потоками, для магистральных улиц городов, является практически необходимой задачей.

Цель и постановка задачи

Целью нашего исследования является повышение эффективности управления дорожным движением. В связи с этим, процесс дорожного движения рассматри-