

УДК 691.5 + 625.8

М.И. Панфилова, М.В. Устинова*, Н.И. Зубрев*

ФГБОУ ВПО «МГСУ», *ФГБОУ ВПО «МИИТ РОАТ»

КОМПОЗИТНЫЕ РАСТВОРЫ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Существующие на сегодняшний день методы утилизации отработанных деревянных шпал — захоронение, химическая нейтрализация, газификация с последующим сжиганием, использование в качестве композиционных материалов — экологически и энергетически являются затратными. Предложено использовать золу от сжигания отработанных деревянных шпал для замены части цемента в композитных растворах, а также при использовании в тампонажных растворах для заблочного и затрубного пространства коллекторных тоннелей. Химический состав в золе определяли рентгенофлуоресцентным методом по трем образцам, отобраным в различные периоды времени из сухого пылеуловителя. По данным химического состава рассчитывали класс опасности золы для окружающей природной среды и здоровья человека. В процессе исследования были изучены изменения реологических свойств композитных растворов, содержащих бетонит и цемент-зола в различных соотношениях, в присутствии 5 % жидкого стекла. Экспериментально доказано, что при замене 20% золы прочность композитной системы примерно равна прочности контрольного образца, поэтому на практике можно готовить композитные растворы с такой добавкой золы. По результатам анализа не выявлено токсичного действия золы в новом композитном растворе, что подтверждает его экологическую безопасность. Доказана возможность 20 % замены цемента золой от сжигания шпал и использования этого состава для широкого применения в транспортном строительстве.

Ключевые слова: инъекционные растворы, зола от сжигания деревянных шпал, тампонажные растворы, заблочное и затрубное пространство.

Ежегодно в ОАО РЖД выводится из производственного использования около 5,5 млн шпал, которые относятся к третьему классу опасности.

Существующие на сегодняшний день методы утилизации отработанных деревянных шпал — захоронение, химическая нейтрализация, газификация с последующим сжиганием, использование в качестве композиционных материалов — экологически и энергетически являются затратными [1—3].

С 2010 г. действует цех по утилизации деревянных старогодних шпал на станции Тагул Восточно-Сибирской железной дороги. При сжигании отходов образуется до 5 % летучей золы.

Известно применение золы от сжигания угля в качестве частичной замены цемента при использовании в тампонажных растворах для заблочного и затрубного пространства коллекторных тоннелей. Однако их применение носит ограниченный характер, обусловленный непостоянным составом золы от сжигания угля, так как он зависит от вида и качества добываемого сырья [4].

Химический состав в золе определяли рентгенофлуоресцентным методом по трем образцам, отобраным в различные периоды времени из сухого пылеуловителя. В состав золы от сжигания шпал входят, масс. %: кремния диоксид — 72,0; алюминия окись — 6,7; магния окись — 2,7; кальция окись — 6,83; окись натрия — 0,25; сульфаты — 1,1; окись калия — 1,6; пятиокись фосфора — 0,6; окись ванадия — 0,9; итого — 92,68. Тяжелые металлы — 7,32 %. Общая сумма — 100 %. Концентрация тяжелых металлов составила соответственно, ppm: As — 15,125; Ni — 53,29; Cu — 326,9; Sn — 7863,5; Fe — 63837,5; Co — 225,0; Mn — 779,77; W — 48,221; Mo — 95,821.

По данным химического состава рассчитывали класс опасности золы для окружающей природной среды¹ и здоровья человека².

В табл. 1 приведены показатели опасности компонентов отходов для окружающей среды.

Табл. 1. Показатели опасности компонентов отходов

Компонент отхода	Концентрация компонента отхода C_i , мг/кг	Относительный параметр опасности компонента отхода X_i	Коэффициент степени опасности компонента отхода W_i , мг/кг	Показатель степени опасности компонента отхода K_i
Диоксид кремния	720000	4	106	0,72
Оксид алюминия	67000	4	106	0,067
Оксид кальция	68300	4	106	0,068
Оксид магния	27000	4	106	0,027
Оксид натрия	2500	4	106	0,0025
Оксид калия	16000	4	106	0,016
Оксид фосфора	600	4	106	0,001
Сульфаты	1100	4	106	0,001
Ванадий	900	2,7	501,19	1,796
Кобальт	225	2,7	501,9	0,448
Олово	7863,5	2,9	598,4	13,14
Никель	53,3	2,08	128,8	0,414
Медь	326,96	2,17	358,9	0,911
Марганец	779,77	2,3	537,0	1,452
Мышьяк	15,125	1,82	55,0	0,275
Вольфрам	48,22	2,4	598,4	0,9
Молибден	95,82	2,3	536,1	0,18
Железо	63837,2	3,1	6310	10,1
Показатель опасности золы				30,52

Так как общий показатель степени опасности золы меньше 100, то она относится согласно к четвертому классу опасности.

В табл. 2. приведены показатели опасности компонентов отходов для здоровья человека.

Табл. 2. Показатели опасности компонентов отходов

Компонент отхода	Концентрация компонента отхода C_i , мг/кг	Относительный параметр опасности компонента отхода X_i	Коэффициент степени опасности компонента отхода W_i , мг/кг	Показатель степени опасности компонента отхода K_i
Диоксид кремния	720000	4	3981,02	180,86
Оксид алюминия	67000	4	3981,02	16,83
Оксид кальция	68300	4	3981,02	17,16
Оксид магния	27000	4	3981,02	6,78
Оксид натрия	2500	4	3981,02	0,63
Оксид калия	16000	4	3981,02	4,02

¹ СП.2.1.7.1386—03. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления.

² Критерии отнесения отходов к классу опасности, утвержденными приказом МПР России от 15 июня 2001 г. № 511.

Окончание табл. 2

Компонент отхода	Концентрация компонента отхода C_i , мг/кг	Относительный параметр опасности компонента отхода X_i	Коэффициент степени опасности компонента отхода W_i , мг/кг	Показатель степени опасности компонента отхода K_i
Оксид фосфора	600	4	3981,02	0,15
Сульфаты	1100	4	3981,02	0,28
Ванадий	900	2,7	501,19	1,796
Кобальт	225	2,7	40,1	5,625
Никель	53,3	2,08	10,0	5,330
Медь	326,96	2,17	30,0	10,900
Олово	7863,5	2,9	54,4	144,55
Марганец	779,77	2,3	20,0	38,99
Мышьяк	15,125	1,82	5,0	3,025
Вольфрам	48,22	2,2	25,0	1,929
Молибден	95,82	2,4	35,0	2,738
Железо	63837,2	2,5	137,0	465,965
Показатель опасности золы				907,558

Так как общий показатель степени опасности золы больше 100, то она относится согласно к третьему классу опасности.

В процессе исследования были изучены изменения реологических свойств композитных растворов, содержащих бентонит и цемент-золу в различных соотношениях, в присутствии 5 % жидкого стекла [5].

Для этого предварительно замачивали в течение суток 5%-ю суспензию бентонита вместе с золой, количество которой варьировало в пределах от 1 до 50 %.

После этого в смесь при перемешивании вносили цемент и жидкое стекло. Во всех образцах композитных растворов определяли прочность в течение 28 сут на приборе Ребиндера — Гороздовского (табл. 2), на гидравлическом прессе ИП-100 через 7, 14 и 28 сут [6].

Экспериментально доказано, что при замене 20 % золы прочность композитной системы примерно равна прочности контрольного образца, поэтому на практике можно готовить композитные растворы с такой добавкой золы [7, 8].

Фитотоксичность и агроэкологическую оценку композитной системы, содержащей золу, определяли по изменению зеленой массы овса и ярового ячменя полной зрелости. Исследования проводили в вегетационной лабораторной установке с частично контролируемыми факторами среды: с помощью системы кондиционирования воздуха круглосуточно поддерживали температурно-световой и влажностный режимы. По результатам анализа не выявлено токсического действия золы в новом композитном растворе, что подтверждает его экологическую безопасность [9, 10].

Композитные растворы являются эффективным средством для заполнения крупных пустот и трещин, уплотнения и укрепления трещиноватых и закарстованных, сильно проницаемых водонасыщенных грунтов, а также изоляционных работ. Они являются также эффективным средством при устройстве людских соединительных сбоек (ЛСС), при строительстве метрополитена. Эти растворы готовятся и нагнетаются по периодической однорастворной схеме при смешивании бентонита и золы, а затем происходит добавление цемента.

Состав и основные технологические свойства композитных растворов приведены в табл. 3 и 4.

Табл. 3. Состав композитных растворов на 1 м сваи диаметром 1200 мм

Номер состава	Состав раствора m_v , кг/м ³					
	В/ц	Цемент	Бентонит	Зола (замена цемента золой, %)	Жидкое стекло	Вода
1	2:1	500	50	—	—	1000
2	2:1	500	50	20	12,5	1000
3	1,33:1	750	50	20	—	1000

Табл. 4. Основные технологические показатели композитных растворов

Номер состава	Характеристика растворов			
	Прочность P , МПа		Коэффициент фильтрации $k \cdot 10^{-7}$, см/с	
	7 сут	28 сут	7 сут	28 сут
1	0,5±3,84	1,43±1,54	9±0,9	11±1,2
2	0,5±3,92	1,65±1,72	4±0,4	6±0,5
3	4,4±0,8	12,0±2	0,2±0,03	3±0,4

Предлагаемые составы композитных растворов с заменой цемента золой имеют улучшенные технологические характеристики по сравнению с контрольными образцами. При введении золы прочность через 28 сут возрастает примерно на 20 %, а коэффициент фильтрации уменьшается почти в два раза.

При сооружении ЛСС предварительно создаются грунтоцементные сваи с замещением части цемента золой от сжигания отработанных деревянных шпал, с применением двухструйной технологии, имеющей два независимых канала для подачи по одному из них композитного раствора, а по второму — воздушной струи под давлением 0,6...1,2 МПа. Происходит сложение двух кинетических энергий раствора и воздушной струи.

Бурение скважины до подошвы сваи производили буровой установкой DELTA BASE. Приготовление композитного раствора с В:Ц = 1:1,33 производили в миксерной станции (установке) ОМР-800 производительностью 100 л/мин.

Подачу раствора на напорную магистраль производили трехплунжерным насосом HD-100 под давлением 450...500 атм. через два сопла диаметром 2,2...2,6 мм.

В период с июня 2009 г. по декабрь 2010 г. ООО «Транстоннельстроем» велись работы по сооружению людских соединительных сбоек (ЛСС) на перегоне между станциями «Кремлевская» и «Козья слобода» Казанского метрополитена.

Проектом организации строительства сооружения ЛСС, ввиду крайне сложных инженерно-геологических условий, предусмотрено закрепление грунтов методом струйной цементации по технологии «Джет-граутинг II».

В целях экономии, при приготовлении раствора для струйной цементации был использован композитный цементно-бentonитовый раствор с заменой 20 % цемента золой от сжигания деревянных шпал.

При сооружении людских соединительных сбоек ЛСС при закреплении 1 п.м расходуется по старой технологии 0,74 т цемента. По новой технологии в состав композитной системы входит цемента — 0,5 т, бентонита — 0,04 т, жидкого стекла — 0,04 т, золы от сжигания шпал — 0,15 т. Перечень и объем основных работ при сооружении ЛСС приведен в табл. 5, а расход материалов — в табл. 6.

Табл. 5. Перечень и объем основных работ

№ п/п	Объем основных работ	Единицы измерения	По проекту	По новой технологии
1	Бурение скважин	п.м	2188,95	2188,95
2	Объем струйной цементации	п.м	1007,3	1007,3

Табл. 6. Расход основных материалов

№ п/п	Объем основных материалов	Единицы измерения	По проекту	По новой технологии
1	Цемент М 400	т	741,37	518,95
2	Бентонит	т	—	37,07
3	Жидкое стекло	т	—	37,07
4	Зола от сжигания шпал	т	—	148,28

Стоимость 1 т цемента составляет 3400 р., бентонита — 2000 р., жидкого стекла — 2550 р., золы (доставка из Тагула в Казань) — 650 р. Общие затраты на материалы для сооружения ЛСС составляют: по старой технологии — 2520658 р., по новой — 2029481 р. Таким образом, экономия от использования композитного раствора с 20 % замены цемента золой составляет 491177 р. При этом экономия цемента составляет 222,42 т.

Библиографический список

1. Гонопольский А.М., Дыган М.М., Тимофеева А.А. Некоторые физико-химические свойства золошлаковых отходов Мусоросжигательных заводов // Экология и промышленность России. 2008. № 7. С. 36—39.
2. Макарова Е.И., Сычева А.М. Новые экозащитные технологии на железнодорожном транспорте : монография. М. : УМЦ ЖДТ. 2007. С. 13.
3. Губанов А.В. Утилизация деревянных шпал: методы и возможные решения // Путь и путевое хозяйство. 2009. № 10. С. 22—30.
4. Инъекционные составы для заблочного и затрубного пространства коллекторных тоннелей / Б.В. Ляпидевский, А.В. Никитин, Г.П. Родина, С.О. Бадамшин // Наука — Московскому строительству : Сб. технической информации. 2008. № 2. С. 52—53.
5. Устинова М.В., Зубрев Н.И. Использование летучей золы в инъекционных растворах // Актуальные проблемы экономической и социально-экологической безопасности Поволжского региона : Сб. по материалам II Межвузовской науч.-практ. конф. М. : МИИТ, 2009. С. 135—140.
6. Устинова М.В., Зубрев Н.И. Бентониты для инъекционных растворов // Актуальные проблемы экономической и социально-экологической безопасности Поволжского региона : сб. по материалам III Межвузовской науч.-практ. конф. М. : МИИТ РОАТ, 2010. С. 44—49.
7. Устинова М.В., Зубрев Н.И. Использование золы мусоросжигательного завода в транспортном строительстве // Проблемы безопасности жизнедеятельности и промышленной экологии : Сб. по материалам III Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Ульяновск : УлГТУ, 2010. С. 46—49.
8. Устинова М.В., Зубрев Н.И. Модификация реологических свойств бентонитовых суспензий // Актуальные проблемы экономической и социально-экологической безопасности Поволжского региона : Сб. по материалам IV Межвузовской науч.-практ. конф. Казань : Казанский филиал МИИТ РОАТ, 2011. С. 20—26.
9. Использование золы от сжигания отработанных деревянных шпал на термической установке по обезвреживанию отходов / М.В. Устинова, Н.И. Зубрев, В.А. Аксенов, В.М. Медведева // Сетевое совещание руководителей природоохранных подразделений железных дорог «Проблемы комплексной утилизации отходов и пути их решения» : Тезисы докладов. Калининград, 2011. С. 174—176.
10. Аксенов В.А., Зубрев Н.И., Устинова М.В. Расширение области использования золы от утилизации отработанных деревянных шпал // Наука и техника транспорта. 2011. № 3. С. 12—14.

Поступила в редакцию в июле 2012 г.

Об авторах: **Панфилова Марина Ивановна** — кандидат химических наук, доцент кафедры физики, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, РФ, Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 012340@mail.ru;

Устинова Марина Владимировна — старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»**

(ФГБОУ ВПО «МИИТ РОАТ»), 125993, РФ, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2, (8495)799-95-50, org@rgotups.ru;

Зубрев Николай Иванович — кандидат технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВПО «МИИТ РОАТ»), 125993, РФ, г. Москва, ул. Часовая, д. 22/2, (8495)799-95-50, org@rgotups.ru.

Для цитирования: Панфилова М.И., Устинова М.В., Зубрев Н.И. Композитные растворы в транспортном строительстве // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 171—177.

M.I. Panfilova, M.V. Ustinova, N.I. Zubrev

COMPOSITE SOLUTIONS IN RAILROAD ENGINEERING

Present-day methods of recovery of used wooden railway ties, including burial, chemical neutralization, gasification and subsequent burning, utilization in the capacity of composite materials, are expensive and unsafe for the environment. The authors propose a new method of their utilization. Ash generated in the course of their burning may replace a portion of cement in composite solutions and act as an additive to grouting mortars designated for the filling of the annulus space of manifold tunnels. The chemical composition of the ash was identified by the x-ray method applied to three samples taken during various periods of time from out of a dry-type dust collector.

The level of human health/environmental hazard of the ash is based on its chemical composition. Changes in the rheological properties of composite solutions that contained concrete fractions, various ratios of ash, and 5% of liquid glass were studied in the course of the research. The experiments have proven that in the event of replacement of 20% of cement by ash, the strength of the composite solution is approximately the same as the one of the benchmark sample; therefore, this ash content ratio is deemed acceptable. The finding demonstrate that the ash has no toxic effect, and the ecological safety of this solution is thus confirmed. The authors have proven that 20% of cement may be replaced by the ash generated in the course of burning of waste railway ties.

Key words: injection solutions, ash, grouting mortars, annulus space.

References

1. Gonopol'skiy A.M., Dygan M.M., Timofeeva A.A. Nekotorye fiziko-khimicheskie svoystva zoloshlakovykh otkhodov musoroszhigatel'nykh zavodov [Some Physicochemical Properties of Ash and Slam Waste Products of Waste Burning Plants]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2008, no. 7, pp. 36—39.
2. Makarova E.I., Sycheva A.M. *Novye ekozashchitnye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte* [New Ecological Technologies in Railroad Transport]. Moscow, Centre for Training and Methodology of the Railroad Transport Network. 2007, p. 13.
3. Gubanov A.V. Utilizatsiya derevyannykh shpal: metody i vozmozhnye resheniya [Recycling of Wooden Cross Ties: Methods and Potential Solutions]. *Put' i putevoe khozyaystvo* [Railroads and Railroad Economy]. 2009, no. 10, pp. 22—30.
4. Lyapidevskiy B.V., Nikitin A.V., Rodina G.P., Badamshin S.O. *In'ektsionnye sostavy dlya zablochnogo i zatrubnogo prostranstva kollektornykh tonneley* [Injections for the Annulus Space of Manifold Tunnels]. *Nauka — Moskovskomu stroitel'stvu. Sb. tekhnicheskoy informatsii* [Collection of technological information "Research Contribution to the Moscow Construction Industry"]. 2008, no. 2, pp. 52—53.
5. Ustinova M.V., Zubrev N.I. *Ispol'zovanie letuchey zoly v in'ektsionnykh rastvorakh* [Adding Flue Ash into Injections]. Collected papers of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Relevant Problems of Economic, Social and Ecological Safety of the Volga Region". Moscow, MIIT Publ., 2009, pp. 135—140.
6. Ustinova M.V., Zubrev N.I. *Bentonity dlya in'ektsionnykh rastvorov* [Bentonites for Injections]. Collected papers of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Relevant Problems of Economic, Social and Ecological Safety of the Volga Region". Moscow, MIIT ROAT Publ., 2009, pp. 44—49.
7. Ustinova M.V., Zubrev N.I. *Ispol'zovanie zoly musoroszhigatel'nogo zavoda v transportnom stroitel'stve* [Use of Combustion Plant Ash in Railroad Engineering]. Collection of Materials of the 3^d International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists "Problems of Life Safety and Industrial Ecology". Ul'yanovsk, UIGTU Publ., 2010, pp. 46—49.
8. Ustinova M.V., Zubrev N.I. *Modifikatsiya reologicheskikh svoystv bentonitovykh suspenziy* [Modification of Rheological Properties of Bentonite Suspensions]. Collection of works of the 4th Interuniversity

Scientific and Practical Conference "Relevant Problems of Economic, Social and Environmental Security of the Volga Region". Kazan, MIIT Kazan branch, 2011, pp. 20—26.

9. Ustinova M.V., Zubrev N.I., Aksenov V.A., Medvedev V.M. *Ispol'zovanie zoly ot szhiganiya otrabotannykh derevyannykh shpal na termicheskoy ustanovke po obezvrezhivaniyu otkhodov* [Feeding Waste Wooden Tie Ash into the Thermal Decontamination Machine]. *Setevoe soveshchanie rukovoditeley prirodookhrannykh podrazdeleniy zheleznykh dorog «Problemy kompleksnoy utilizatsii otkhodov i puti ikh resheniya». Tezisy dokladov.* [Problems of Comprehensive Recycling and Methods of Their Resolution. Network meeting of executives of nature protection departments of railroad administrations. Abstracts of reports.]. Kaliningrad, 2011, pp. 174—176.

10. Aksenov V.A., Zubrev N.I., Ustinova M.V. *Rasshirenie oblasti ispol'zovaniya zoly ot utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [New Areas of Application of Wooden Tie Ash]. *Nauka i tekhnika transporta* [Transport-related Research and Machinery]. 2011, no.3, pp. 12—14.

About the authors: **Panfilova Marina Ivanovna** — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 012340@mail.ru;

Ustinova Marina Vladimirovna — Senior Lecturer, Department of Safety of the Technosphere, **Moscow State University of Railroad Engineering (MIIT)**, 22/2 Chasovaya St., Moscow, 125993, Russian Federation; org@rgotups.ru; +7 (495) 799-95-50;

Zubrev Nikolay Ivanovich — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Safety of the Technosphere, **Moscow State University of Railroad Engineering (MIIT)**, 22/2 Chasovaya St., Moscow, 125993, Russian Federation; org@rgotups.ru; +7 (495) 799-95-50.

For citation: Panfilova M.I., Ustinova M.V., Zubrev N.I. *Kompozitnye rastvory v transportnom stroitel'stve* [Composite Solutions in Railroad Engineering]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 10, pp. 171—177.