

Применение серы и золы ТЭЦ Норильского региона при строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений

К.т.н., доцент Н.В. Личман,*

*ФГБОУ ВПО Норильский индустриальный институт,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

Ключевые слова: серное вяжущее; серные композиты; зола ТЭЦ; утилизация отходов промышленности; гидротехническое строительство

Разработка долговечных и надежных эффективных строительных изделий и конструкций продолжает оставаться одной из актуальных проблем строительного материаловедения. Если под долговечностью понимать устойчивость по отношению к широкому диапазону агрессивных воздействий в течение длительного периода эксплуатации без значительной потери технических характеристик, то очевидно, что повышенные требования, предъявляемые к гидротехническим сооружениям, совершенно оправданы. Эксплуатация в жестких агрессивных условиях (особенно в зоне переменного уровня воды в периоды межсезонья при многократно повторяющихся циклах замораживания-оттаивания) приводит к разрушению конструкций в силу прогрессирующей коррозии и неравномерных температурно-влажностных деформаций в бетоне конструкций. В этом случае для длительной эксплуатации необходимо проводить дорогостоящие регулярные ремонтные и восстановительные работы. В связи с этим наиболее рациональным с точки зрения технико-экономической целесообразности является использование на этапе изготовления бетонных смесей особых технологий, снижающих проницаемость бетона гидротехнических сооружений [1]. Композиты при этом должны отличаться сравнительно низкой стоимостью при повышенных плотности, водонепроницаемости, морозостойкости, трещиностойкости, долговечности. Достичь сочетания указанных параметров возможно в случае использования ряда техногенных отходов [2,3] и замены высокомарочного цемента на модифицированное комплексными наполнителями серное вяжущее [4,5,6,7,8,9].

Известно, что серные бетоны, являясь относительно новым видом материалов, отличаются рядом положительных свойств по сравнению с традиционными цементными бетонами: повышенной плотностью, отсутствием усадочных деформаций, меньшей ползучестью, водонепроницаемостью, гидрофобностью, атмосферо- и морозостойкостью, высокой химической стойкостью к слабым щелочам, кислотам, сульфатам, органическим растворителям (табл. 1), способностью твердеть под водой, быстрым набором прочности, связанным только с периодом остывания смеси, низкой стоимостью исходных материалов, что и определяет их высокую востребованность в гидротехническом строительстве. Т.о. наиболее целесообразно применять такие бетоны при аварийных работах для предотвращения фильтрации воды под давлением. В этом случае обеспечивается надежная совместная работа в силу высокого сцепления (более 1,7 МПа) серобетона с бетонными поверхностями при схожести их деформативных характеристик: модуле упругости при кратковременном нагружении у серобетона $E_b = (35-40) \cdot 10^3$ МПа, у традиционного цементного бетона – $E_b = (32-37) \cdot 10^3$ МПа, коэффициенте линейного температурного расширения в диапазоне температур от +20°C до +60°C у серобетона $(9,3-10,3) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, у цементного бетона на крупном заполнителе из гранита – $(9,5-9,8) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Также эффективно применять серобетоны в «горячих» технологиях устройства отдельных конструктивных элементов гидротехнических сооружений при замене ими традиционных для этой области материалов.

В серных бетонах в качестве связующего используют серу, серосодержащие отходы или серные руды, которые являются попутным продуктом металлургической и нефтеперерабатывающей промышленности. Очевидно, что только строительная индустрия, как одна из самых материалоемких отраслей, способна их утилизировать, решая тем самым не только техническую задачу, но и устраняя экологическую и экономическую проблемы некоторых регионов России [10].

Таблица 1. Коэффициент химической стойкости серного бетона в различных средах

Среда	Коэффициент химической стойкости
Растворы кислот 10% концентрации	
– серная	0,87–0,90
– соляная	0,78–0,83
– азотная	0,86–0,89
Растворы солей 10% концентрации	
– сульфат натрия	0,90–0,95
– хлорид натрия	0,92–0,95
– фторид натрия	0,90–0,92
– гидроксид натрия	0,78–0,83
Магнезиально-хлоридно-сульфатная (в грунтовых водах)	0,95–0,98
Машинное масло	0,95–0,98

Эффективные решения подобных вопросов осуществляются не только в нашей стране, но и за рубежом (в частности – в Канаде, США, Чешской республике, Японии) [9,11,12], где работают крупнейшие заводы по производству сероцемента, серобетона, сероасфальта и изделий строительного назначения на их основе. В целом наблюдается общемировая тенденция вовлечения во вторичный производственный цикл серосодержащих отходов [13]. При этом основы технологии серобетонов отражены в отечественных работах Ю.М. Баженова, Г.И. Бердова, И.И. Бернея, А.Н. Волгушева, Е.В. Королева, В.И. Соломатова, Д.А. Угинчуса, В.М. Хрулева и зарубежных трудах Р. Грегора, Д. Каретти, М. Штейнберга и др. В настоящее время интерес к данной проблематике не исчерпал себя, и исследования продолжаются.

Так, в частности, предлагается перспективное, на наш взгляд, направление применения серобетонов при устройстве противофильтрационных экранов.

Известно, что одним из недостатков проектирования и строительства хвостохранилищ Норильского промышленного региона является либо полное отсутствие противофильтрационных мероприятий, либо их некачественное исполнение. Этим и объясняются потери объемов оборотного водоснабжения, загрязнение поверхностных и подземных вод (ярким примером чего являются хвостохранилища Надеждинского металлургического завода и «Лебяжье»), оттаивание вечномёрзлых грунтов оснований и сопровождающие их деформации подпорных конструкций. Все это в последующем приводит к существенным затратам на обеспечение статической и фильтрационной устойчивости сооружений.

Различные предлагаемые мероприятия по устройству противофильтрационных экранов, способных полностью предотвратить фильтрацию из накопителя, схожи одним существенным недостатком – сравнительно сложной технологией при высоких трудозатратах и стоимости работ. Учитывая положения концепции развития горно-металлургического комплекса ОАО «ГМК «Норильский никель», в соответствии с которыми предполагается наращивание объемов перерабатываемой руды, можно предположить, что количество отходов также будет постоянно увеличиваться. Таким образом, возникает весьма важная проблема не только безопасного и экологически чистого складирования отходов, но и поиска технологий их утилизации, в том числе и при устройстве гидротехнических сооружений.

Задача наших исследований заключалась в использовании зол ТЭЦ и серосодержащих материалов Норильского промышленного региона в строящихся и проектируемых хвостохранилищах с учетом особенностей эксплуатации в криолитозоне. Одновременно изучались возможности пропитки серой и серным вяжущим существующих дамб; устройства водонепроницаемых покрытий из серы и серного вяжущего на откосах ограждающих дамб и в пляжной зоне; устройства противопылевых завес в основаниях пионерных дамб строящихся хвостохранилищ.

Одним из основных используемых компонентов в решении поставленных задач является техническая сера Норильского горно-металлургического комбината – это практически чистый продукт, структура и свойства которого отвечают требованиям ГОСТ 127.1-93. Она характеризуется оптимальной температурой плавления ($112,8^{\circ}\text{C}$), низкой вязкостью, достаточной механической прочностью, низкой химической активностью, высокой адгезией к заполнителям бетона благодаря кристаллизации при переходе из расплавленного состояния в силу своей термопластичности, низкой себестоимостью и доступностью. Гидрофобность, высокая химическая стойкость серы к кислотной и солевой агрессии, химическая инертность по отношению к металлической арматуре делают серное связующее предпочтительнее цементного для производства изделий и конструкций, эксплуатирующихся в воде и химически агрессивных средах. При этом недостатки чистого серного связующего – хрупкость и невысокая прочность, устраняются модификацией наполнителями и химическими добавками.

Наполнители, вводимые в расплав, в зависимости от их природы, количества и дисперсности существенным образом повышают твердость и прочность, уплотняя и стабилизируя структуру получаемого композита, а также снижают расход серы [14,15]. В качестве наполнителей используются тонкодисперсные материалы с удельной поверхностью не менее $2000\text{ см}^2/\text{г}$. В любом промышленно развитом регионе имеются такие материалы, примером которых являются золы ТЭЦ.

За годы реформ и структурной перестройки промышленности в России почти на треть снизилось использование золошлаковых отходов, и в настоящее время их выход не превышает 5%, что в пересчете составляет примерно 0,5 млн. т на 1 млн. кВт мощности ТЭЦ в год [16]. В Норильском промрайоне ежегодно складывается около 4 тыс. тонн золы ТЭЦ. Содержание золошлаковых отвалов, в которых скопились миллионы тонн золы ТЭЦ, требует значительных затрат. При этом в последнее время в России экологическим аспектам развития техники и технологии стали уделять более пристальное внимание, в связи с чем вновь актуальным стал комплексный подход в решении задач по утилизации различных отходов, в том числе зол и шлаков, которые обладают специфическими свойствами, определяющими возможность их эффективного использования в производстве различных строительных материалов, что подтверждается многолетними научными исследованиями и практическим опытом.

Имеются основательные теоретические проработки вариантов утилизации золы применительно к выпуску широкой номенклатуры строительных материалов [17,18]. Однако на практике довольно часто не используются исходные преимущества этих отходов: дисперсность, агрегатное состояние, наличие химически активных фаз и поверхностно-активных веществ. Обычно основным критерием выбора отходов служит их химический состав. При таком подходе вторичное сырье безвозвратно теряет свои уникальные свойства [6].

Зола Норильской ТЭЦ, как показали исследования, имеет высокую удельную поверхность ($3000\text{--}4000\text{ см}^2/\text{г}$), термостойкость (до 200°C), при этом ее отличает стабильный химический состав (табл. 2) по вертикали и горизонтали в пределах основного отвала, что и определяет возможность ее использования в качестве структурообразующего наполнителя при изготовлении серного вяжущего.

Таблица 2. Химический состав золы ТЭЦ

Наименование	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Зола ТЭЦ	57,24	24,37	–	1,81	7,3	8,35	0,93	11,86

Наполнение расплава серы тонкодисперсным инертным наполнителем, играющим роль зародышей кристаллов, приводит к увеличению структурных центров с образованием плотно упакованной матрицы, что подтверждается электронномикроскопическими исследованиями (рис. 1, 2), выполненными в Институте геологии и геохронологии докембрия РАН на электронном микроскопе SEM ABT 55 (Япония) с применением микрозондовой приставки Link AN 10000 (Великобритания).

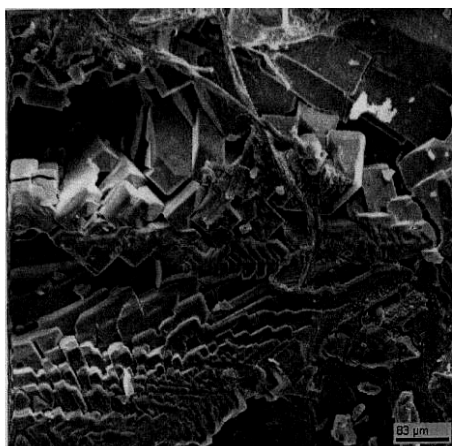


Рисунок 1. Кристаллы застывшего расплава серы (увеличение 100х)

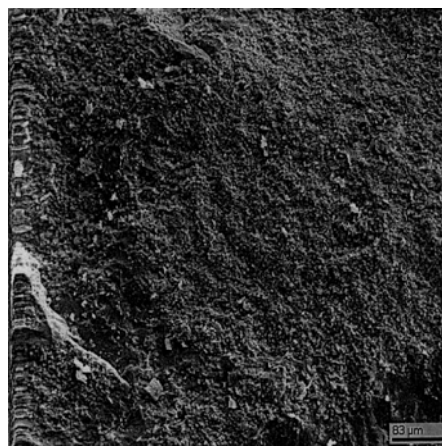


Рисунок 2. Сера с золой в качестве наполнителя (увеличение 100х)

Оптимальное соотношение между количеством серы и наполнителя способствует снижению пористости, повышению водостойкости и прочности серного бетона или застывшего серного вяжущего, которое может применяться само по себе вне состава композита. Исследуя зависимости свойств серного вяжущего от степени наполнения, удалось получить композит с высокими физико-механическими характеристиками (табл. 3), определенными по стандартным методикам ГОСТ 10180-90, ГОСТ 12730.3-78, ГОСТ 27677-88.

Таблица 3. Свойства серозольного композита оптимизированного состава

Серозольное вяжущее	Показатели качества	
Техническая сера (ГОСТ 127.1-93), зола ТЭЦ	Предел прочности при сжатии, МПа	26,7
	Водопоглощение, масс. %	1,0–1,1
	Коэффициент коррозионной стойкости в магниезольно-сульфатно-хлоридной среде	0,9

При изготовлении бетонов на серозольном вяжущем в качестве заполнителей в наших исследованиях использовались отходы металлургической промышленности: шлаковые пески (табл. 4) и отсеvy базальтовых горных пород, которые способствуют увеличению прочности композита за счет повышения сцепления с серной матрицей в силу весьма развитой шероховатой поверхности зерна. В результате исключительно из техногенных отходов был получен мелкозернистый прочный ($R_{сж} = 40$ МПа) серный бетон ($\rho = 2300\text{--}2500$ кг/м³), превосходящий цементный бетон по плотности, водонепроницаемости, морозостойкости и химической стойкости.

Таблица 4. Химический состав шлакового песка

Наименование	Содержание оксидов, мас. %								
Гранулированный шлак Никелевого завода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	S
	39	8	6	6	1,01	0,99	–	38	–

Также были исследованы возможности использования технической серы и композиций на ее основе в гидротехническом строительстве в качестве противофильтрационного экрана при подготовке оснований строящихся и действующих хвостохранилищ. В частности, было предложено использовать искусственный щебень на основе технической серы с наполнителем – золой ТЭЦ (табл. 2) [19, 20]. Щебень был получен путем охлаждения серного вяжущего с последующим его дроблением и рассеиванием на фракции 5–10 мм, 10–20 мм и 20–40 мм. В дальнейшем искусственный щебень использовался при подборе составов различных материалов, которые могут служить противофильтрационным экраном. Для этого щебень разных фракций заливался расплавом серы, вязкость которого при температуре 155°C составляет 0,0065 Па·с и приближается к вязкости воды.

С целью изучения свойств получаемых серобетонных композитов в лабораторных условиях изготавливались образцы с размером ребра 100 мм путем заполнения предварительно нагретых металлических форм серозольным щебнем с последующей заливкой расплавом серы (140°C). Распалубливание образцов производилось после полного остывания.

Сравнительно простая технология пропитки серозольного щебня серным расплавом [15] обеспечивает его равномерное распределение по всему объему, в результате чего достигается высокая плотность и низкое водопоглощение образцов, физико-механические характеристики которых приведены в табл. 5. При этом определение коэффициента фильтрации выявило высокую водонепроницаемость.

Основными параметрами материала, обеспечивающего устойчивость ограждающих дамб хвостохранилищ, являются плотность, удельное сцепление, угол внутреннего трения, коэффициент фильтрации как намывного массива, так и материала (шлак металлургических заводов), используемого для отсыпки дамб под распределительный пульпопровод. Сравнительная характеристика серосодержащих материалов и металлургического шлака, используемого в настоящее время на хвостохранилищах Норильского промышленного района, приведена в табл. 6.

Очевидно, что физико-механические характеристики предложенных серосодержащих композитов существенно отличаются в положительную сторону от применяемых в настоящее время материалов. При этом оценочные расчеты устойчивости ограждающей дамбы, проведенные по двум вариантам: существующая технология (металлургический шлак); использование серосодержащих материалов, показывают, что значения коэффициента устойчивости с применением серосодержащих материалов повышаются на 10-15%. Промышленная апробация, проведенная в 2005 г. на хвостохранилище, подтвердила выводы лабораторных исследований и предварительных расчетов.

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что на основе техногенных отходов можно получить высококачественные бетоны и серные композиты специального назначения, что позволит существенно расширить области и степень утилизации техногенных отходов.

Таблица 5. Физико-механические свойства противofильтрационных материалов на основе серозольного щебня и серного связующего

№ образца	Состав композиции	Фракция серощебня, мм	Степень пропитки	Основные свойства		
				ρ_0 , кг/м ³	W , %	$R_{сж}$, МПа
4	серозольный щебень, расплав серы	5-10	равномерная до дна	2024	0,1	21,5
5		10-15		1865	0,1	21,1
6		10-20		1887	0,2	20,2

Таблица 6. Сравнительная характеристика серосодержащих материалов и металлургического шлака

Наименование параметра	Металлургический шлак	Металлургический шлак с наполнителем из отвалных «хвостов»	Серозольный щебень	Серозольный щебень, пропитанный модифицированной серой
Плотность, т/м ³	1,8–2,0	2,0–2,4	1,8–2,2	2,0–2,5
Удельное сцепление, МПа	0,01	0,05–0,2	0,04–0,8	3,0–12,0
Угол внутреннего трения, градус	35–40	30–35	28–33	35–40
Коэффициент фильтрации, м/сут	20–50	0,01–1,0	5–50	0

По результатам комплексных исследований определены наиболее перспективными направлениями использования предлагаемых материалов:

- строительство морских и речных портовых сооружений, пирсов, волнорезов, дамб, причалов;
- устройство противofильтрационных экранов и противofильтрационных завес действующих и строящихся хвостохранилищ;
- совмещение противofильтрационных устройств с сооружением дамб в виде монолитных конструкций из серных бетонов.

Литература

1. Пухаренко Ю. В., Аубакирова И. У., Староверов В. Д. Коррозионностойкие наномодифицированные цементные бетоны // Технологии бетонов. 2010. №7–8. С. 24–27.
2. Боженков П. И. Комплексное использование минерального сырья и экология: Учебное пособие. М. : АСВ, 1994.
3. Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н. Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов. М. : Стройиздат, 1984. 216 с.
4. Альбакасов А. И., Гарькина И. А., Данилов А. М., Королев Е. В. Дисперсные фазы для серных композитов специального назначения // Региональная архитектура и строительство. 2011. №2. С. 18–23.
5. Киселев Д. Г., Королев Е. В., Прошина Н. А., Альбакасов А. И. Комплексный способ управления структурой и свойствами серных радиационно-защитных строительных материалов // Региональная архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 4–10.
6. Личман Н. В. Комплексное исследование золы ТЭЦ как наполнителя в серные композиционные материалы // Строительные материалы. 2009. №12. С. 75–77.
7. Личман Н. В., Уголков В. Л. Создание строительных связующих серных композиций как один из путей утилизации золы ТЭЦ // Сухие строительные смеси. 2010. №3. С. 32–33.
8. Пат. 2276115 Российская Федерация, МПК C04B 12/00. Вяжущее / Л.В. Кухаренко, Н.В. Личман, И.В. Никитин. – №2003136225/03; приоритет 15.12.2003; опубл. 10.05.2006. Бюл. №13.
9. McBee W. C., Saylak D., Sullivan T. A., Barnett R. W. Sulfur as a partial replacement for asphalt cement // World Construction. 1977. №10. Pp. 44–47.
10. Draycott T., Schoor K., Wong G. World sulfur outlook [presentation] // Sulphur 2005: conference, 23–26 october, 2005, Moscow, Russia. Pp. 1–15.
11. Chazez K., Mulhall A. North American sulphur: a volatile future // Conference. 2–5 november, 2003. Alberta, Canada. Pp. 37–50.
12. Thaulow Niels. Sulphuric impregnated concrete // Cement and Concrete Research. 1974. №2. Pp. 269–277.
13. Kaitmazov N. G., Kozlov A. N., Ilyukhin I. V. Sulphur dioxide recovery from smelting off-gas // Sulphur 2003, Banff–Canada, 2–5 November, 2003. Pp. 23–35.
14. Алехин М. Н., Васильев В. Ю., Мотин Н. В., Сарычев И. Ю. Сероасфальтобетонные смеси // Строительные материалы. 2011. №10. С. 17–19.
15. Пат. 2276119 Российская Федерация, МПК C04B 28/36. Сырьевая смесь для изготовления строительных конструкций и изделий / Л. В. Кухаренко, Н. В. Личман, И. В. Никитин, Б. А. Дунаев. – №2004101342/03; приоритет 16.01.2004; опубл. 10.05.2006. Бюл. №13
16. Чистов Ю. Д., Чумаков Л. Д. Технологические и эколого-экономические аспекты утилизации отходов ТЭС // Строительные материалы XXI века. 2004. №3. С. 66–67.
17. Панибратов Ю. П., Староверов В. Д. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах // Технологии бетонов. 2011. №1–2. С. 43–47.
18. Стольников В. В., Кинд В. В. Гидротехнический бетон с добавкой топливной золы-уноса. М.–Л. : Госэнергоиздат, 1963. 86 с.
19. Кухаренко Л. В., Личман Н. В., Личман Я. В. Искусственный щебень из техногенных отходов Норильского комбината // Материалы региональной научно-технической конференции «Молодые ученые Норильского промышленного района – Российскому Северу». Норильск : НИИ, 2006. С. 115–118.
20. Пат. 2302531 Российская Федерация, МПК E21F 15/00. Состав закладочной смеси / Л. В. Кухаренко, Н. В. Личман, Н. Н. Плеханова, Я. В. Личман. – №2005120480/03; приоритет 30.06.2005; опубл. 10.07.2007. Бюл. №19.

** Нелли Викторовна Личман, г. Норильск, Россия*

Тел. раб.: +7(3919) 42-16-32; эл. почта: norvuz.nii@norcom.ru

The use of Norilsk region's sulfur and hes ash for hydraulic engineering and reconstruction

N.V. Lichman,

*Norilsk Industrial Institute, Norilsk, Russia,
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
+7(3919) 42-16-32; e-mail: norvuz.nii@norcom.ru*

Key words

sulfur binder; sulfur composites; ash from heat stations; recycling of industrial wastes; hydraulic engineering

Abstract

As a result of the industrial activity millions of tons of industrial wastes are piled in the industrially developed countries. They occupy huge spaces, worsen ecological situation and require proper recovery.

The paper contains the information about the ways of technical sulfur and ash recovery from the thermal power station which are used for obtaining artificial fillers and as components in the hydraulic concretes. Comparative characteristics that identify preferential parameters of sulfur concrete with respect to cement concretes are presented. Also the possibility of using technical sulfur and compositions based on it in hydraulic engineering as an anti-screen were investigated.

Studies have revealed the fundamental possibility of obtaining high-quality sulfur compounds on the basis of industrial wastes and their field of application was determined.

References

1. Puharenko Y. V., Aubakirova I. U., Staroverov V. D. *Concrete technologies*. 2010. No. 7–8. Pp. 24–27. (rus)
2. Boghenov P. I. *Kompleksnoye ispolzovaniye mineralnogo syrya i ekologiya: Uchebnoye posobiye* [Integrated use of mineral resources and the environment: Textbook]. Moscow : AUCE, 1994. 264 p. (rus)
3. Volghensky A. V., Ivanov I. A., Vinogradov B. N. *Primeneniye zol i shlakov v proizvodstve stroitelnykh materialov* [The use of ashes and slags in the production of building materials]. Moscow : Stroyizdat, 1984. 216 p. (rus)
4. Albakasov A. I., Garkina I. A., Danilov A. M., Korolev E. V. *Regional architecture and engineering*. 2011. No. 2. Pp. 18–23. (rus)
5. Kiselev D. G., Korolev E. V., Proshina N. A., Albakasov A. I. *Regional architecture and engineering*. 2010. No. 1. Pp. 4–10. (rus)
6. Lichman N. V. *Construction materials*. No. 12. 2009. Pp. 75–77. (rus)
7. Lichman N. V., Ugolkov V. L. *Sukhiye stroitelnyye smesi* [Dry plasters and mortars]. 2010. No. 3. Pp. 32–33. (rus)
8. Invention 2276115 Russian Federation, Int. Cl C04B 12/00. Binding agent / L. V. Kuharenko, N. V. Lichman, I. V. Nikitin. No. 2003136225/03; effective date for property rights 15.12.2003; date of publication 10.05.2006. Bull. No. 13. (rus)
9. McBee W. C., Saylak D., Sullivan T. A., Barnett R. W. Sulfur as a partial replacement for asphalt cement. *World Construction*. 1977. No. 10. Pp. 44–47.
10. Draycott T., Schoor K., Wong G. World sulfur outlook [presentation]. *Sulphur 2005: conference*, 23–26 october, 2005, Moscow, Russia. Pp. 1–15.
11. Chazez K., Mulhall A. North American sulphur: a volatile future. Conference. 2–5 november, 2003. Alberta, Canada. Pp. 37–50.
12. Thaulow Niels. Sulphuric impregnated concrete. *Cement and Concrete Research*. 1974. No. 2. Pp. 269–277.
13. Kaitmazov N. G., Kozlov A. N., Ilyukhin I. V. Sulphur dioxide recovery from smelting off-gas. *Sulphur 2003*, Banff–Canada, 2–5 November, 2003. Pp. 23–35.

14. Alekhina M. N., Vasiliev Yu. E., Motin N. V., Sarychev I. Yu. *Construction materials*. 2011. No. 10. Pp. 17-19. (rus)
15. Invention 2276119 Russian Federation, Int. Cl C04B 28/36. The row materials mixture for production of the building structures articles / L. V Kuharenko, N. V. Lichman, I. V. Nikitin, B. A. Dunaev. No. 2004101342/03; effective date for property rights 16.01.2004; date of publication 10.05.2006. Bull. No.13. (rus)
16. Chistov Y. D., Chumakov L. D. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2004. No. 3. Pp. 66–67. (rus)
17. Panibratov Yu. P, Staroverov V. D. *Concrete technologies*. 2011. No. 1–2. Pp. 43–47. (rus)
18. Stolnikov V. V., Kind V. V. *Gidrotekhnicheskiy beton s dobavkoy toplivnoy zoly-unosa* [Hydraulic concrete with the addition of HES ash]. Moscow–Leningrad : Gosenergoizdat, 1963. (rus)
19. Kuharenko L. V., Lichman N. V., Lichman Y. V. *Proceedings of the regional scientific-technical conference «Young scientists Norilsk industrial region – the Russian North»*. Norilsk: NII, 2006. Pp. 115–118. (rus)
20. Invention 2302531 Russian Federation, Int. Cl E21F 15/00. Stowing mixture composition / L. V Kuharenko, N. V. Lichman, N. N. Plehanova, Y. V. Lichman. No. 2005120480/03; effective date for property rights 30.06.2005; date of publication 10.07.2007. Bull. №19. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 29-34