



УДК 691.3

Авксентьев Владислав Игоревич

архитектор 2-й категории

E-mail: v.avksentyev@gap-rt.ru

АО «Казанский Гипронефтепром»

Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1

Красникова Наталья Михайловна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: knm0104@mail.ru

Степанов Сергей Викторович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: Stepanov@kgasu.ru

Макаров Дмитрий Борисович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: Makarov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Свойства и фазовый состав гидратированного цементного камня, модифицированного шламом химической водоочистки теплоэлектростанций

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучение влияния шлама химической водоочистки теплоэлектростанций (ТЭЦ) на технологические свойства цементного теста, на прочностные характеристики и на фазовый состав цементного камня с целью рассмотрения возможности использования данного отхода в цементных системах.

Результаты. Шлам химической водоочистки (ШХВО) представляет собой пастообразную и нестабильную по влажности массу, поэтому для рационального использования он предварительно подвергался сушке с последующим помолом. В статье показано, что введение ШХВО в цементное тесто увеличивает его водопотребность. Поэтому изучалось совместное влияние шлама с добавками на нафталинформальдегидной и полиэфиркарбоксилатной основе. Использование шлама с суперпластификаторами позволяет сократить расход вяжущего на 7,5 % без потери прочности и снизить пористость цементного камня.

Методом дифференциально-термического анализа изучены продукты гидратации цементного камня с рассматриваемым шламом. Установлено, что введение ШХВО в цементные системы приводит к изменению морфологии новообразований, как в первые сутки, так и на 28 сутки твердения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что показана возможность использования многотоннажных отходов промышленности – шламов ШХВО ТЭЦ в цементных системах. Выявлено, что эффективность действия шлама зависит от способа его введения в цементную систему.

Ключевые слова: цементный камень, прочность, бетон, шлам химической водоочистки, утилизация отходов, гидратация.

Введение

Ежедневно на промышленных предприятиях в процессе производства образуется большое количество техногенных отходов. Но лишь их небольшая часть, не более 15 %, утилизируется тем или иным способом. В основном отходы хранятся в виде отвалов на предприятиях, являясь экологической проблемой. Применение вместо природного сырья техногенного является важнейшей технико-экономической задачей, так как в отходах производств заключена энергия и человеческий труд [1, 2].

Химическая очистка городских и промышленных сточных вод становится всё более распространенной в странах Европейского союза, Азии, Америки и России. В результате

количество осадков сточных вод увеличивается ежедневно [3, 4]. Захоронение данных видов осадков в большинстве стран запрещено, ввиду высокого содержания тяжелых металлов.

На сегодняшний день существуют различные способы утилизации данных отходов. К примеру, изучена возможность использования шламов сточных вод, образующихся на мусоросжигательных заводах, в качестве вторичного источника фосфора. Важность вопросов, связанных с извлечением фосфора из отходов, вытекает из законодательства Европейского Союза, в котором фосфор указан как критическое сырье [5].

Производство строительных материалов является привлекательной отраслью для утилизации техногенных отходов, в частности, шламов. На сегодняшний день в строительной индустрии используется весьма незначительная часть шламов, хотя технологически они являются наиболее «подготовленными», поскольку представляют собой высокодисперсные продукты.

Существуют следующие исследования по использованию шламов: для производства строительной керамики [6]; в качестве заполнителя в асфальтобетонных смесях в строительстве дорожных покрытий [7] и цементных бетонах [8]; в качестве химических добавок в цементные бетоны (Влияние шлама химической водоочистки в комплексе с суперпластификатором на физико-механические свойства цементного камня // Известия КГАСУ, 2015 № 1 (31) С. 119-126) [9, 10]. Во всех работах показана технико-экономическая эффективность использования ШХВО.

В работах [11, 12] проведены экспериментальные исследования относительно использования золы от сжигания шламов химической водоочистки в производстве цементных растворов и бетонов с частичной заменой цемента. В данном исследовании использовался осадок сточных вод Загребской станции очистки сточных вод. Исследование показывает, что введение золы от сжигания шлама в цементные системы в пределах 10 % не влияет на прочностные характеристики.

В исследовании [13] показана эффективность использования шлама водоочистных сооружений, которые используют соли алюминия в качестве основного коагулянта в цементных системах. Рассмотрено влияние порошкообразного шлама на механические свойства цементного бетона. Выявлено, что замена цемента в бетоне на 6 % на подготовленный ШХВО позволяет получить прочность бетона на сжатие и прочность на растяжение при раскалывании выше, чем у бездобавочного состава.

Особое внимание следует уделить крупнотоннажным побочным продуктам и отходам стабильного химического и минералогического состава. Одним из таких отходов является шлам химводоочистки тепловых электростанций, хранящийся в огромных количествах в шламонакопителях или на промышленных свалках. Исследование данного шлама является актуальным. Так, например, ежегодно только на одной ТЭЦ в шламотстойниках собирается около 5 тыс. тонн шлама, который не находит дальнейшего применения, отвозится на свалку и создает экологическую проблему.

Исходя из выше сказанного, сформулирована цель исследования – изучить шлам химводоочистки ТЭЦ и оценить его эффективность в цементных системах.

Характеристика материалов и методы исследования

Шлам химической водоочистки (ШХВО) – карбонатный пастообразный отход ТЭЦ, образующийся в процессе известкования и коагуляции воды и содержащий CaCO_3 , SiO_2 и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в количестве 96 %, 1 и 2 %, соответственно. Физические свойства шлама представлены в табл. 1. Средний размер частиц пастообразного ШХВО составляет 60 мкм (рис. 1).

Таблица 1

Физические свойства шлама химической водоочистки

Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³	Влажность, %	Удельная поверхность, г/см ²	Средний диаметр частиц, мкм
2,71	0,65	40-60	8400	40

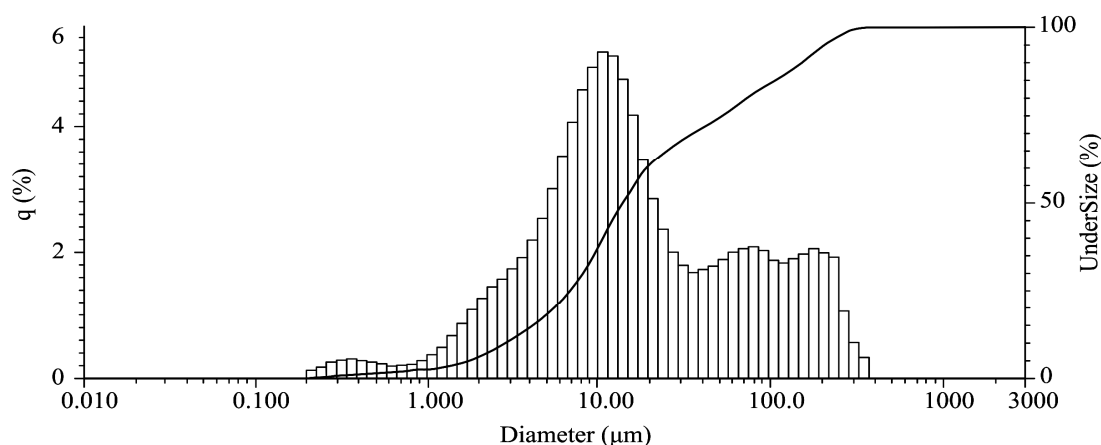


Рис. 1. Распределение частиц по размерам пастообразного шлама химической водоочистки (иллюстрация авторов)

Цемент марки ЦЕМ I 42,5 Н, соответствующий ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» (производства ОАО «Мордовцемент»).

«ПОЛИПЛАСТ СП-1» (далее С-3) суперпластификатор, представляющий собой смесь, нейтрализованных едким натром, полимерных соединений разной относительной молекулярной массы, получаемых при конденсации сульфокислот нафталина с формальдегидом и технических лигносульфонатов, неслеживающийся порошок коричневого цвета, легкорастворимый в воде. Содержание активного вещества в С-3 в пересчете на сухой продукт не менее 69 %, содержание золы не более 38 %, рН (2,5 % водного раствора) 7-9, содержание воды не более 10 %.

«MELFLUX 2651F» (далее MF) суперпластификатор, представляющий собой порошковый продукт, полученный методом распылительной сушки на основе модифицированного полиэфиркарбоксилата. Технические данные: форма – желтоватый порошок; насыпная плотность – 400-600 г/л; потери при нагревании – макс. 2,0 мас.%; 20 % раствор при 20 °С, имеет рН = 6,5-8,5.

В работе применялись как стандартные методики и оборудование, регламентируемые нормативными документами (ГОСТ 31108-2016, ГОСТ 12730.4-78), так и нестандартные, отвечающие задачам исследования и обеспечивающие необходимую точность и надежность (Horiba LA950, «ДЕРИВАТОГРАФ» Q1500D).

Определение распределения частиц по размерам (РЧР) проводилось на лазерном анализаторе размера частиц Horiba LA950. Принцип работы основан на рассеивании и детектировании отраженного/преломленного лазерного света, красного и синего спектров (650 и 405 нм), в соответствии с ISO 13320:2020 – Particle size analysis – Laser diffraction methods. Определение размера основано на теории рассеивания Ми.

Комплексный термический анализ проводили на модернизированной установке «ДЕРИВАТОГРАФ» Q1500D при нагревании в открытых платиновых тиглях при одинаковых навесках образцов 140 мг со скоростью 10 град/мин в интервале температур 20-1000 °С. Интенсивность соответствующих рефлексов и потери массы, сопровождающей их, использовали в качестве основы для количественного определения фазы. Обработку результатов проводили при сопоставлении полученных пиков с эталоном.

Испытание технологических свойств цементного теста и прочностных показателей цементного камня осуществляется по стандартным нормативным методикам.

Основная часть

Шлам химической водоочистки представляет собой отход с высоким содержанием влаги (до 40 %). Введение шлама в цемент в исходном виде не представляется возможным, поэтому его предварительно высушивали (в сушильном электрошкафу LOIP LF при температуре 105 °С) и размалывали в лабораторной вибрационно-шаровой мельнице. Введение тонкодисперсных продуктов в цементное тесто приводит к увеличению водопотребности, поэтому необходимо использовать пластифицирующие добавки. В данных исследованиях использовались нафталинформальдегидный суперпластификатор – С-3 и поликарбоксилатный суперпластификатор – MF.

ШХВО вводили в цемент совместно с суперпластификаторами двумя способами:
 - первый способ – раздельное введение молотого шлама и суперпластификатора;
 - второй способ – совместный помол высушенного шлама с пластификатором. При этом, суперпластификатор при помолу шлама будет являться интенсификатором помола [14, 15].

Полученные порошки были названы С-3+ШХВО и MF+ШХВО. Следует отметить, что при использовании шламов количество вяжущего уменьшалось на количество вводимого шлама.

Исследование распределения частиц по размеру ШХВО показало, что система перешла из полимодальной в бимодальную, со смещением кривой в область более мелких частиц (рис. 1-2). При этом средний размер частиц уменьшился с 60 мкм до 21,8 мкм.

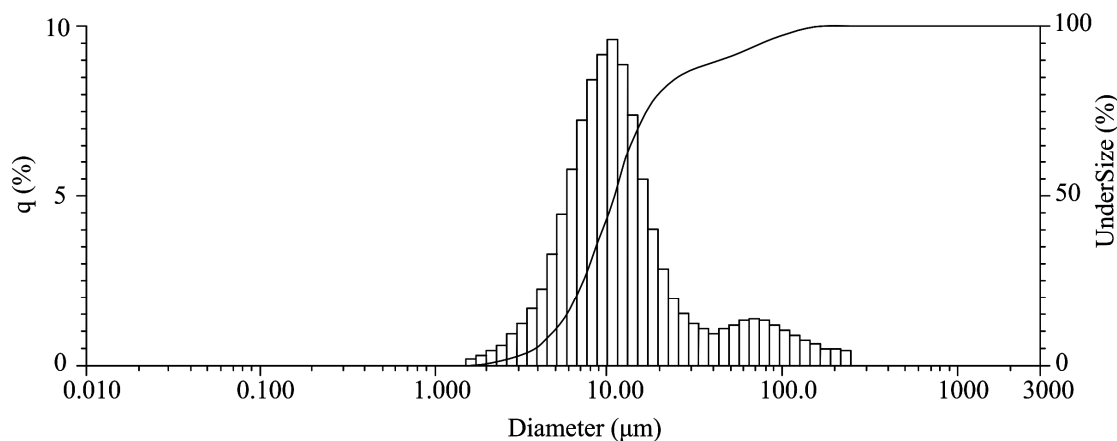


Рис. 2. Распределение частиц по размерам шлама химической водоочистки удельной поверхностью 12000 см²/г (иллюстрация авторов)

Полученные добавки вводились в состав цементной смеси, после чего определялись основные технологические и физико-механические свойства смеси и камня. Полученные результаты сравнивались с показателями составов, в которых использовалось раздельное введение ШХВО и пластификаторов (табл. 2,3). Дозировка ШХВО 7,5 %, а дозировки пластификаторов были выбраны исходя из рекомендаций производителя и на основе проведенных исследований.

Таблица 2

Влияние процедуры введения С-3 в состав ШХВО на технологические свойства цементного теста и на механические характеристики цементного камня в возрасте 1, 7 и 28 суток

№ состава	Цемент, г	С-3+ШХВО, г	ШХВО, г	С-3, г	Вода, мл	НГ, %	Сроки схватывания, ч-МИН		Полная пористость, %	Плотность, г/см ³	Прочность цементного камня, МПа		
							начало	конец			1 сутки	7 суток	28 суток
1	400	-	-	-	116	29	3-00	4-10	25,1	2,2	29,4	52,0	75,0
2	370	1,6+30	-	-	130	32	3-00	5-30	28,7	2,1	13,8	37,5	54,0
3	370	3,2+30	-	-	118	29	4-40	5-30	27,3	2,2	21,9	43,3	60,2
4	370	-	1,6	30	122	31	4-10	5-10	24,3	2,1	18,3	43,0	57,5
5	370	-	3,2	30	111	28	5-10	6-50	23,4	2,2	21,6	59,2	73,9

Таблица 3

**Влияние процедуры введения MF в состав ШХВО
на технологические свойства цементного теста
и на механические характеристики цементного камня в возрасте 1, 7 и 28 суток**

№ состава	Цемент, г	MF +ШХВО, г	ШХВО, г	MF, г	Вода, мл	НГ, %	Сроки схватывания, ч-мин		Полная пористость, %	Плотность, г/см ³	Прочность цементного камня, МПа		
							начало	конец			1 сутки	7 суток	28 суток
1	400	-	-	-	116	29	3-00	4-10	25,1	2,2	29,4	52,0	75,0
2	370	0,8+30	-	-	133	33	3-40	6-50	27,7	2,0	20,6	40,0	54,5
3	370	2+30	-	-	138	34	3-40	7-10	24,2	2,0	20,5	43,4	57,2
4	370	-	30	0,8	123	31	4-00	7-10	21,4	2,1	30,8	52,2	65,2
5	370	-	30	2	109	27	4-30	9-00	23,2	2,2	34,9	62,8	78,2

Как видно из табл. 2, использование добавки (С-3+ШХВО), полученной совместным помолом, не оказывает влияние на водопотребность цементного теста по сравнению с бездобавочным составом. При этом, отдельное использование ШХВО и С-3 в количестве 0,8 % от массы цемента позволяет снизить водопотребность на 4 %, и незначительно удлинить процессы схватывания цементного теста (на 80 мин).

Из табл. 3 видно, что использование добавки (MF+ШХВО), также, не оказывает влияние на водопотребность цементного теста по сравнению с бездобавочным составом. Отличительной особенностью отдельного введения MF и ШХВО является значительное замедление схватывания, конец схватывания наступает через девять часов после затворения, что на пять часов позже, чем у состава без добавок. При этом, водопотребность снижается также на 4 %.

Таким образом, снизить водопотребность ШХВО можно только при отдельном введении порошка шлама с любым типом суперпластификатора.

Влияние ШХВО и различных пластифицирующих добавок на прочность позволяет определить эффективность использования этих модификаторов в составе цементной смеси. Исследования проводились с цементным тестом нормальной густоты.

Из табл. 2 видно, что добавка, полученная совместным помолом (С-3+ШХФ), неэффективна, т.к. приводит к снижению прочности цементного камня на всех сроках твердения. Показано, что отдельное введение ШХВО и С-3 позволяет получить соразмерную прочность с меньшим количеством вяжущего (на 7,5 %) относительно контрольного состава. Однако, при этом наблюдается замедление набора прочности на первые сутки твердения.

Из табл. 3 видно, что добавка, полученная совместным помолом (MF +ШХФ), неэффективна, т.к. приводит к снижению прочности цементного камня на всех сроках твердения. И только отдельное введение ШХВО и MF в состав цементного теста увеличивает прочность цементного камня на 19, 21 и 5 % в возрасте 1, 7 и 28 суток соответственно, в сравнении с контрольным составом.

Полученные результаты по прочности согласуются с данными по водопотребности.

На эксплуатационные характеристики, помимо прочности цементного камня, влияет его пористость, поэтому также было исследовано влияние добавок на основе шлама на пористость цементного камня (по ГОСТ 12730.4-78). Результаты изучения пористости и плотности цементного камня представлены в табл. 2, 3.

Отдельное введение ШХВО и С-3 в состав цементного теста (табл. 2), позволяет снизить полную пористость цементного камня на 3 и 7 % при дозировках пластификатора 0,4 и 0,8 % от веса цемента, соответственно.

При этом, пластификатор Melflux оказывает большее влияние на пористость, снижая ее на 14 %, по сравнению с показателями контрольного состава (табл. 3).

Таким образом, эффективность шлама ШХВО зависит от его способа введения с пластификатором. При использовании шлама совместно с суперпластификатором можно сократить расход вяжущего на 7,5 % без потери прочности и снизить пористость цементного камня. При этом тип суперпластификатора не влияет на характер значений, что коррелируется с предыдущими работами авторов [16].

Для полного анализа влияния шлама на процессы гидратации цементного камня изучен фазовый состав новообразований дифференциально-термическим методом (рис. 3).

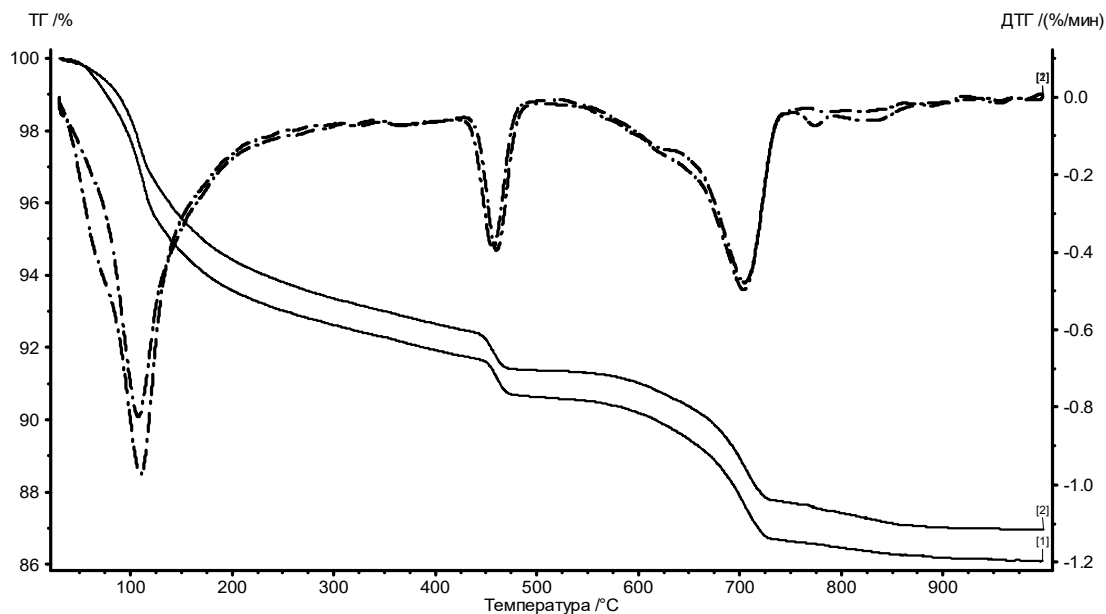


Рис. 3. Термограмма продуктов гидратации портландцементного камня без добавок в 1 сутки и 28 суток твердения (иллюстрация авторов)

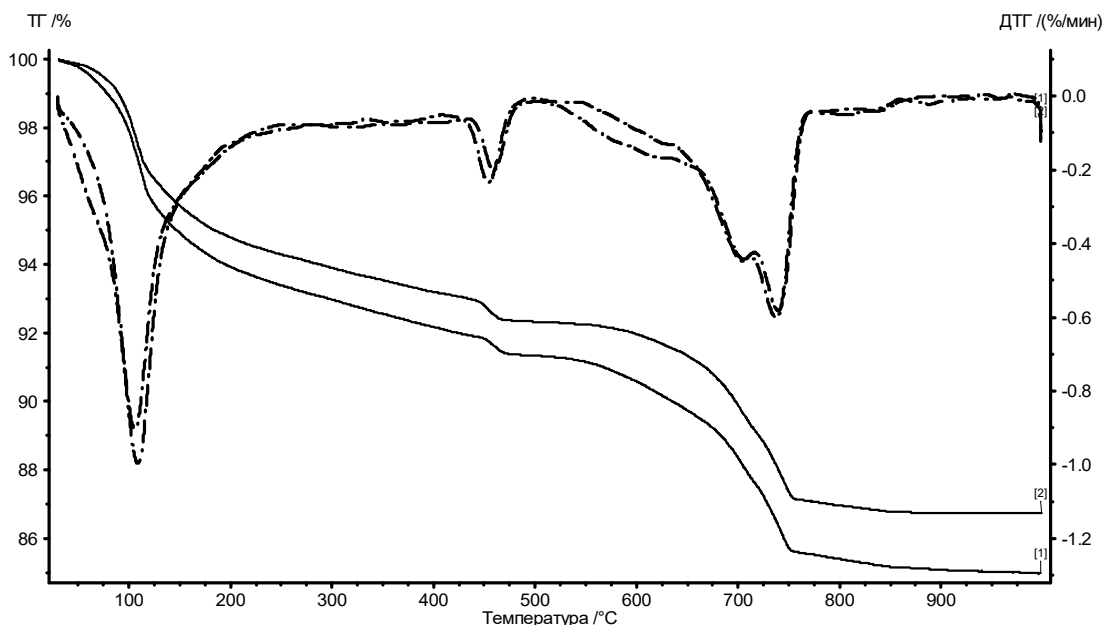


Рис. 4. Термограмма продуктов гидратации портландцементного камня со шлагом ШХВО в 1 сутки и 28 суток твердения (иллюстрация авторов)

Введение шлама ШХВО приводит к изменению морфологии новообразований, как в первые, так и в 28 суток твердения (рис. 3-4). При введении ШХВО в первые сутки

увеличивается количество гидросиликатов кальция и снижается доля портландита в возрасте 28 суток.

Результаты проведенного исследования согласуются с другими работами [17, 18].

Заключение

Показана возможность использования шламов химводоочистки (ШХВО) теплоэлектростанций (ТЭС) в цементных системах в качестве активной минеральной добавки.

Выявлено, что эффективность шлама химводоочистки зависит от способа его введения в цементную систему. Для рационального использования шлама предварительно подвергался сушке с последующим помолом. Установлено, что ШХВО эффективен при раздельном введении с суперпластификатором, так как совместное введение увеличивает водопотребность. Использование шлама с суперпластификаторами позволяет сократить расход вяжущего на 7,5 % без потери прочности и снизить пористость цементного камня на 7 %. Введение в цементное тесто ШХВО с суперпластификаторами, приводит к замедлению сроков схватывания до 9 часов. Данный эффект будет положительным при монолитном массовом бетонировании, так как поможет избежать температурных деформаций. Процессы схватывания могут регулироваться количеством вводимого шлама. Введение ШХВО оказывает влияние на продукты гидратации цемента. Так, в первые сутки твердения увеличивается количество гидросиликатов кальция, а в возрасте 28 суток наблюдается снижение доли портландита.

Список библиографических ссылок

1. Ерохин И. В., Комащенко В. И. Утилизация промышленных отходов и техногенных образований в строительные материалы : сб. тр. Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах – Материалы V международной конференции / ООО «Константа». Белгород, 2013. С. 369–373.
2. Ковалев В. Д., Оксенюк С. И., Герасимов В. П., Радченко С. Ю. Экология и утилизация шламных техногенных отходов : сб. тр. Проблемы и тенденции развития информационных и производственных систем – Материалы международной научно-практической конференции / АГРУС. Ставрополь, 2019. С. 311–316.
3. Stunda-Zujeva A., Kreicbergs I., Medne O. Sustainable utilization of sewage sludge: Review of technologies // *Key Engineering Materials*. 2018. № 762. P. 121–125.
4. Sharma R., Sharma S., Nautiyal A. Effective sewage treatment with direct current ionization technology // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. № 8. P. 5030–5033.
5. Smol M., Kulczycka J., Kowalski Z. Sewage sludge ash (SSA) from large and small incineration plants as a potential source of phosphorus – Polish case study // *Journal of Environmental Management*. 2016. № 184. P. 617–628.
6. Приходько А. П., Шпирько Н. В., Сторчай Н. С., Гришко А. Н., Вечер Ю. Н., Кононов Д. В., Богданов Б. В. Исследование низкокачественного сырья и техногенных отходов промышленности с целью их применения при производстве керамического кирпича // *Вісник придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2012. № 7-8 (172-173). С. 16–24.
7. Lynn C. J., Dhir R. K., Ghataora G. S., West R. P. Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete // *Construction and Building Materials*. 2015. № 98. P. 767–779.
8. Ali Dawood S. A., Obaid H. A., Hashim T. M., Jasim H. K. Influence of using alum sludge as an aggregate on hot mix Asphalt // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 584.
9. Tarakanov O. V., Belyakova E. A., Yurova V. S. Complex organomineral additives with hardening accelerator // *Solid State Phenomena*. 2018. № 284. P. 929–935.
10. Stepanov S., Morozov N., Morozova N., Ayupov D., Makarov D., Baishev D. Efficiency of Use of Galvanic Sludge in Cement Systems // *Procedia Engineering*. 2016. № 165. P. 1112–1117.

11. Vouk D., Serdar M., Vučinić A. A. Use of incinerated sewage sludge ash in cement mortars: Case study in Croatia // Tehnicki Vjesnik. 2017. № 24. P. 43–51.
12. Nakic D. Environmental evaluation of concrete with sewage sludge ash based on LCA // Sustainable Production and Consumption. 2018. № 16. P. 193–201.
13. Vasudevan G. Performance of Alum Sludge as partial replacement for cement adding superplasticizer // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 652.
14. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К., Кашапов Р. Р., Баишев Д. И. Опыт наномодификации цементов низкой водопотребности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 1. С. 53–57.
15. Красиникова Н. М., Хозина Е. В., Хозин В. Г., Морозов Н. М. Исследование размолосопособности сухих смесей для пенобетона // Вестник технологического университета. 2015. № 8. С. 187–190.
16. Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Хозин В.Г., Гайфуллин Н.Э. Характер пористости цементного камня модифицированного суперпластификаторами: сб. тр. Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее – Материалы международной заочной научно-практической конференции / ООО «Консалтинговая компания Юком». Тамбов, 2012. С. 10-12.
17. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Features of the hydration process of the modified blended cement for fiber cement panels // MATEC Web of Conferences / EDP Sciences. France. 2018.
18. Ibragimov R., Fediuk R. Improving the early strength of concrete: effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers // Construction and building materials. 2019. № 226. P. 839–848.

Avksentiev Vladislav Igorevicharchitect 2nd categoryE-mail: v.avksentyev@gap-rt.ru**JSC «Kazan Giproniiaviaprom»**

The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementyeva st., 1

Krasinikova Natalya Mihailovna

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: knm0104@mail.ru**Stepanov Sergei Viktorovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Stepanov@kgasu.ru**Makarov Dmitry Borisovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Makarov@kgasu.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Properties and phase composition of hydrated cement stone modified by sludge during chemical treatment of thermal power plants**Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is to study the effect of sludge from chemical water treatment of heat and power plants (CHP) on the technological properties of cement paste, strength characteristics and phase composition of cement stone in order to consider the possibility of using this waste in cement systems.

Results. Chemical water treatment sludge (SHHVO) is a paste-like and unstable in moisture mass, therefore, for rational use, it was previously dried and then milled. The article shows that the introduction of SHHVO in cement paste increases its water demand. Therefore, the joint effect of sludge with additives on the naphthalene formaldehyde and polyether carboxylate base was studied. The use of sludge with superplasticizers can reduce the consumption of binder by 7.5 % without loss of strength and reduce the porosity of cement stone.

The method of differential thermal analysis was used to study the products of hydration of cement stone with the considered slurry. It was established that the introduction of SHWO into cement systems leads to a change in the morphology of neoplasms, both on the first and on the 28th day of hardening.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the possibility of using large-tonnage industrial wastes - sludge of the SHHVO CHPP in cement systems is shown. It was revealed that the effectiveness of the sludge depends on the method of its introduction into the cement system.

Keywords: cement stone, strength, concrete, sludge of chemical water treatment, waste disposal, hydration.

References

1. Erohin I. V., Komashenko V. I. Utilization of industrial wastes and technogenic formations in building materials : Environmental Management Issues and the Ecological Situation in European Russia and Neighboring Countries – Materials of the Vth International Conference / OOO Constanta. Belgorod, 2013. P. 369–373.
2. Kovalev V. D., Oksenyuk S. I., Gerasimov V. P., Radchenko S. Yu. Ecology and disposal of sludge industrial waste : collection of articles. tr Problems and trends in the development of information and production systems – Materials of the international scientific-practical conference / AGRUS. Stavropol, 2019. P. 311–316.
3. Stunda-Zujeva A., Kreicbergs I., Medne O. Sustainable utilization of sewage sludge: Review of technologies // Key Engineering Materials. 2018. № 762. P. 121–125.
4. Sharma R., Sharma S., Nautiyal A. Effective sewage treatment with direct current ionization technology // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. № 8. P. 5030–5033.
5. Smol M., Kulczycka J., Kowalski Z. Sewage sludge ash (SSA) from large and small incineration plants as a potential source of phosphorus – Polish case study // Journal of Environmental Management. 2016. № 184. P. 617–628.
6. Prikhodko A. P., Shpirko N. V., Storchay N. S., Grishko A. N., Evening Yu. N., Kononov D. V., Bogdanov B. V. The study of low-quality raw materials and industrial wastes with a view to their use in the manufacture of ceramic bricks // News of the Dnieper State Academy of Architecture and Architecture. 2012. № 7-8 (172-173). P. 16–24.
7. Lynn C. J., Dhir R. K., Ghataora G. S., West R. P. Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete // Construction and Building Materials. 2015. № 98. P. 767–779.
8. Ali Dawood S. A., Obaid H. A., Hashim T. M., Jasim H. K. Influence of using alum sludge as an aggregate on hot mix Asphalt // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 584.
9. Tarakanov O. V., Belyakova E. A., Yurova V. S. Complex organomineral additives with hardening accelerator // Solid State Phenomena. 2018. № 284. P. 929–935.
10. Stepanov S., Morozov N., Morozova N., Ayupov D., Makarov D., Baishev D. Efficiency of Use of Galvanic Sludge in Cement Systems // Procedia Engineering. 2016. № 165. P. 1112–1117.
11. Vouk D., Serdar M., Vučinić A. A. Use of incinerated sewage sludge ash in cement mortars: Case study in Croatia // Tehnicki Vjesnik. 2017. № 24. P. 43–51.
12. Nakic D. Environmental evaluation of concrete with sewage sludge ash based on LCA // Sustainable Production and Consumption. 2018. № 16. P. 193–201.
13. Vasudevan G. Performance of Alum Sludge as partial replacement for cement adding superplasticizer // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering / United Kingdom. 2019. Vol. 652.
14. Khozin V. G., Khokhryakov O. V., Nizamov R. K., Kashapov R. R., Baishev D. I. Experience of nanomodification of low water demand cements // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2018. № 1. P. 53–57.
15. Krasinikova N. M., Khozina E. V., Khozin V. G., Morozov N. M. The study of the grindability of dry mixes for foam concrete // Vestnik technologicheskogo universiteta. 2015. № 8. P. 187–190.

16. Avksentiev V.I., Morozov N.M., Khozin V.G., Gaifullin N.E. The nature of the porosity of cement stone modified with superplasticizers: Actual problems of science and education: past, present, future - Materials of the international correspondence scientific-practical conference / Konsaltingovaya kompaniya Yukom. Tambov, 2012. P. 10-12.
17. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Features of the hydration process of the modified blended cement for fiber cement panels // MATEC Web of Conferences / EDP Sciences. France. 2018.
18. Ibragimov R., Fediuk R. Improving the early strength of concrete: effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers // Construction and building materials. 2019. № 226. P. 839–848.