

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКА ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аубакирова И. У.

USE OF SLUDGE FROM WATER TREATMENT PLANTS IN THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

Aubakirova I. U.

Аннотация

Введение. Указывается на актуальность проблемы утилизации илового осадка водоочистных сооружений (ВОС), в том числе в производстве строительных материалов. Цель исследования заключалась в получении новых составов сырьевых смесей для изготовления строительных изделий с использованием осадка ВОС в качестве сырьевого компонента. **Методы и материалы.** В работе приведены характеристики использованных вяжущих веществ и осадка ВОС, а также методики проведения экспериментов. В качестве вяжущих использовались портландцемент и гипсовое вяжущее в безобжиговых материалах, глина — в обжиговых. По стандартным методикам определялись прочностные показатели, воздушная и огневая усадка. **Результаты исследований.** Анализ результатов, полученных в процессе испытаний, позволил установить нецелесообразность использования осадка ВОС без его специальной подготовки в сочетании с портландцементом в качестве вяжущего при производстве безобжиговых строительных материалов. Разработаны предварительные составы гипсобетонов с использованием осадка ВОС. **Заключение.** Указывается, что наиболее эффективно применение осадка ВОС при производстве обжиговых керамических материалов. Однако для его практического использования требуется проведение более подробных исследований, направленных на оптимизацию составов и разработку конкретных технологических процессов, включая при необходимости вопросы подготовки осадков.

Ключевые слова: водопроводные очистные сооружения, осадок, обжиговые керамические материалы, безобжиговые материалы, портландцемент, гипсовое вяжущее.

Abstract

Introduction. Currently, the issue related to the utilization of sludge from water treatment plants (WTP), including in the production of building materials, is quite urgent. In this regard, the purpose of the study was to obtain new compositions of raw mixtures to manufacture building products using WTP sludge as a raw component. **Methods and Materials.** The paper presents the characteristics of the used binders and WTP sludge, and outlines some experimental methods. Portland cement and gypsum binder were used in non-fired materials, while clay was used in fired materials as binders. Strength properties, air and fire shrinkage were determined using standard methods. **Results.** Based on the analysis of the results obtained during the tests, we established that it is inexpedient to use WTP sludge without special treatment in combination with Portland cement as a binder in the production of non-fired building materials. We also developed preliminary compositions of gypsum concrete with the use of WTP sludge. **Conclusion.** WTP sludge can be most effectively used in the production of fired ceramic materials. However, its practical use requires more detailed research aimed at optimizing compositions and designing specific processes, including, if necessary, those related to sludge treatment.

Keywords: water treatment plants, sludge, fired ceramic materials, non-fired materials, Portland cement, gypsum binder.

Введение

Строительство новых водоочистных сооружений (ВОС) сопровождается выделением большого количества органико-минеральных масс в виде иловых осадков [1, 3–5, 7, 8, 11, 12, 15], которые

являются техногенным продуктом и требуют утилизации, в том числе при производстве строительных материалов. Учитывая это, в СПбГАСУ проведены поисковые исследования, цель которых — разработка составов эффективных строи-

тельных материалов и изделий с использованием осадков водоочистных станций.

Работы проводились по двум направлениям: производство безобжиговых и обжиговых материалов.

Как известно, в безобжиговых композитах в качестве вяжущих используются неорганические (портландцемент и его разновидности, известь, гипсовые, магнезиальные) или полимерные (битум, термопластичные и терморезактивные смолы) вещества [10]. В обжиговых композитах высокотемпературные связующие представлены в основном керамическими, а также шлаковыми и каменными расплавами [2].

Методы и материалы

В работе в качестве вяжущих выбраны традиционные, наиболее доступные и дешевые вещества: портландцемент и гипсовое вяжущее для безобжиговых и глина для керамических обжиговых строительных материалов.

При разработке безобжиговых строительных материалов использовались портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н (ПЦ 400 Д5) и гипсовое вяжущее марки Г-6 А-I, песок морской с модулем крупности $M_k = 2,2$.

Для исследования обжиговых строительных материалов использовалась кембрийская глина Чекаловского месторождения (г. Никольское Ленинградской обл.).

В качестве сырьевого компонента использовался техногенный отход водопроводных очистных сооружений ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» — осадок ВОС. Осадок ВОС по-

лучен в процессе водоподготовки водопроводной воды хозяйственно-питьевого назначения на Главной водопроводной станции при двухступенчатой схеме очистки после отстаивания в вертикальном-радиальном отстойнике с последующей технологией обезвоживания на центрифуге «Flottweg» [6, 16]. Влажность осадка составляет 75 %. Химический анализ двух проб осадков ВОС, выполненный в ИЦ «Акцепт», представлен в табл. 1.

Анализ результатов химического анализа осадка ВОС свидетельствует об отсутствии в осадке ВОС «вредных веществ» и о высоком содержании во всех пробах органических веществ.

При исследовании безобжиговых материалов осадок ВОС в естественном (влажном) состоянии смешивался с цементным или гипсовым вяжущим. Из подготовленной массы, состоящей из вяжущего, осадка ВОС, песка и воды, формовали образцы-балочки размером 40×40×160 мм.

Опытные составы керамических масс готовили путем смешивания глины и пробы осадка ВОС. Полученные смеси высушивали, измельчали на лабораторных бегунах, просеивали через сито с размером ячеек 1 мм и увлажняли. Затем формовали «валюшку», отбивали и подвергали вылеживанию в естественных условиях в течение 48 часов¹. После вылеживания методом набивки в металлические формы изготавливали образцы каждого состава размером 70×70×70 мм и 67×30×15 мм.

¹ Андрианов Н. Г. Практикум по технологии керамики: учебное пособие. М.: РИФ Стройматериалы, 2005. 334 с.

Таблица 1

Результаты химического анализа илового осадка

Измеряемый показатель, ед. измерения	Обозначение НД на испытание	Результат испытания	
		1-я проба	2-я проба
Массовая доля SiO ₂ , %	ГОСТ 2642.3	27,26	22,78
Массовая доля Al ₂ O ₃ , %	ГОСТ 2642.4	20,47	21,28
Массовая доля Na ₂ O+ K ₂ O, %	ГОСТ 2642.11	1,44	1,28
Массовая доля Fe ₂ O ₃ , %	ГОСТ 2642.5	2,28	2,10
Массовая доля MgO, %	ГОСТ 2642.8	2,95	2,86
Массовая доля CaO, %	ГОСТ 2642.7	1,66	1,48
Массовая доля общей серы, %	ГОСТ 3594.4	0,60	0,66
Содержание хлор-ионов в водной вытяжке, мг-экв./дм ³	ГОСТ 19609.10	0,14	0,10
Содержание водорастворимых солей, %	ГОСТ 21192.2	0,88	0,58
Массовая доля п.п.п., %	ГОСТ 2642.2	43,93	48,21

Результаты исследования и обсуждение

В табл. 2 приведены составы цементно-песчаных растворов с В/Ц = 0,5 и заменой доли песка на осадок ВОС, а также результаты испытаний.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что уже при введении 5 % осадка ВОС взамен части песка резко снижаются прочностные показатели раствора: до 10 раз предел прочности при изгибе и до 20 раз — при сжатии. Отмечено значительное замедление твердения образцов раствора с осадком ВОС. Через 24 ч после формования образцы не имеют необходимой прочности для распалубки.

Для ускорения твердения и возможности достижения распалубочной прочности в состав растворной смеси вводили один из самых эффективных ускорителей твердения — хлористый кальций. Однако введение ускорителя не приводит к получению цементного камня с достаточной прочностью. Применение портландцемента более высокой марки (ПЦ 500 Д0) также не дает повышения прочности.

Поскольку осадок ВОС представляет собой пластичную влажную массу, было сделано предположение о возможности получения безобжиговых гранул заполнителя (типа зольного гравия). Для этого отформованы образцы из осадка и портландцемента без добавления воды. Изготовление гранул осуществлялось методом прессования при давлении 10 МПа. Образцы твердели в эксикаторе при температуре 20 °С и влажности 95 % в течение 7 суток, затем высуши-

вались до постоянной массы. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Результаты испытаний свидетельствуют, что введение осадка ВОС не позволяет получить гранулы достаточной прочности, которая для безобжигового зольного гравия должна составлять не менее 5,0 МПа. При переходе на обжиговую технологию возможно получение пористого заполнителя [9].

Таким образом, использование портландцемента в сочетании с осадком ВОС в его исходном состоянии, то есть без дополнительной специальной подготовки, для получения строительных материалов нецелесообразно.

Дальнейшие исследования по получению безобжиговых материалов проводились с использованием гипсового вяжущего. Известно, что гипсовое вяжущее быстро схватывается и быстро твердеет, и органические примеси не успевают привести к значительным деструктивным процессам при твердении. Составы и результаты испытаний образцов на основе гипсового вяжущего приведены в табл. 4.

Анализ результатов показывает, что при введении осадка ВОС в состав композиций прочность образцов снижается, но уменьшение прочности менее значительно по сравнению с цементными образцами. Замедления схватывания не отмечено. Поэтому для удлинения сроков схватывания и улучшения технологических свойств в состав композиций вводился пластификатор (суперпластификатор СП-3 производства ОАО «Полипласт Северо-Запад»).

Таблица 2

Составы и результаты испытаний цементно-песчаных образцов (после пропаривания)

№ п/п	Расход компонентов цементно-песчаного раствора, кг/м ³					Результаты испытаний		
	цемент	песок	осадок ВОС	%	вода	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
							при изгибе	при сжатии
1	700	1400	–	0	350	1992	7,4	26,7
2	700	1330	70	5,0	350	1883	0,73	1,28
3	700	1295	105	7,5	350	1867	0,53	0,87
4	700	1260	140	10,0	350	1859	0,46	0,82

Таблица 3

Составы и результаты испытаний образцов на основе цемента и осадка ВОС

№ состава	Состав (цемент:осадок ВОС), %	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
1	10:90	960	1,33
2	20:80	1180	1,88
3	40:60	1280	2,31

Таблица 4

Составы смесей и результаты испытаний гипсовых образцов, высушенных до постоянной массы

№ состава	Расход компонентов, кг/м ³			Результаты испытаний			
	Гипс	Осадок ВОС		Вода	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
		кг	%			при изгибе	при сжатии
1	1000	–	0	450	1400	6,6	15,0
2	900	100	10	410	1270	3,4	5,6
3	800	200	20	400	1185	3,2	4,4
4	700	300	30	375	1070	1,4	2,1

Введение пластификатора позволило улучшить формовочные свойства образцов и повысить прочностные показатели гипсового камня с осадком, в том числе предел прочности при сжатии на 33 %. Достигнутые физико-механические показатели образцов позволяют сделать предположение о возможности изготовления из разработанных смесей плит для возведения межкомнатных и межквартирных перегородок.

Применение иловых осадков в обжиговых материалах исследовалось также в Сибирском государственном университете путей сообщения [13, 14]. Нами при оценке возможности применения осадка ВОС для модифицирования керамических масс и обжиговой керамики использовались шихтовые смеси (табл. 5).

Показатели формовочной влажности, чувствительности к сушке, воздушной и полной усадки указанных составов приведены в табл. 6.

Анализ полученных данных показывает, что введение в состав сырьевой смеси осадка ВОС приводит к улучшению формовочных и сушиль-

ных свойств глины. При этом наилучшими показателями характеризуется состав № 3 с содержанием осадка, равным 15 %.

В ходе дальнейших исследований определялось влияние осадка ВОС в составе шихты на поведение керамических масс при обжиге и физико-механические характеристики керамики, получаемой при различных температурах.

Зависимость огневой усадки и водопоглощения от температуры обжига образцов в лабораторной муфельной печи приведена в табл. 7. Из таблицы следует, что введение в состав шихты осадка ВОС в оптимальных количествах не приводит к увеличению огневой и, соответственно, полной усадки. Водопоглощение зависит от температуры обжига, но во всех случаях превышает величину водопоглощения образцов, изготовленных из чистой глины. Это свидетельствует об увеличении пористости и, соответственно, снижении средней плотности обожженного материала.

Параллельно с лабораторными исследованиями оценивалось влияние осадка ВОС в составе керамических масс на основные свойства получаемого материала при обжиге образцов в промышленной печи по производственному режиму. Для этого высушенные образцы обжигались в производственных условиях ЗАО «Петрокерамика». Обожженные образцы — кубики — испытывались по методикам на соответствие требованиям ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни ке-

Таблица 5

Составы шихтовых смесей

Наименование исходных компонентов	Содержание компонентов в шихте, %			
	Номер составов			
	1	2	3	4
Глина кембрийская	95	90	85	100
Осадок ВОС	5	10	15	0

Таблица 6

Формовочные и сушильные свойства керамических масс

№ состава	Формовочная влажность, %	Коэффициент чувствительности к сушке	Число пластичности	Воздушная усадка, %	Полная усадка, %
1	20	0,72	7,7	8,7	9,3
2	21	0,65	6,4	7,7	9,4
3	21	0,60	6,4	7,0	8,3
4	20	0,80	4,6	7,7	9,2

Таблица 7

Огневые свойства глиняных масс с осадком ВОС

№ состава	900 °С		950 °С		1000 °С		1050 °С	
	Усадка, %	Водопоглощение, %	Усадка, %	Водопоглощение, %	Усадка, %	Водопоглощение, %	Усадка, %	Водопоглощение, %
1	8,1	16,3	8,5	13,8	8,2	12,6	Образцы вспучились	8,2
2	7,3	18,1	8,0	15,6	9,5	14,0		11,9
3	6,8	20,8	7,9	16,7	8,9	16,6		18,6
4	6,8	16,8	8,2	13,9	9,2	10,6		18,4

Таблица 8

Свойства обожженных образцов с осадком ВОС

№ состава	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение, %
1	1788	19,6	14,6
2	1660	20,8	14,9
3	1582	22,7	15,4
4	2034	21,2	10,8
Нормы для кирпича марки 200	Не нормируется	Не менее 20	Не менее 6

рамические». Результаты испытаний приведены в табл. 8.

Анализ полученных данных показывает, что наилучшими показателями физико-механических свойств обладает состав № 3 с максимальным содержанием в шихте осадка ВОС, равным 15 % по массе. При этом отмечается увеличение прочности материала при одновременном снижении величины средней плотности на 20 %, что свидетельствует о повышении конструктивного качества получаемой керамики.

Заключение

При проведении поисковых исследований, цель которых — получение составов и технологий строительных материалов и изделий с использованием осадков водоочистных станций, получены следующие результаты.

Установлена принципиальная возможность применения осадка в производстве различных строительных материалов.

Вместе с тем использование осадка ВОС в чистом виде для изготовления цементных бетонов невозможно из-за негативного влияния на процессы гидратации, обуславливающего снижение прочности материала. Таким образом, применение осадка ВОС без его дополнительной специальной подготовки для модифицирования составов сырьевых смесей при производстве безобжиговых

строительных материалов в сочетании с портландцементом в качестве вяжущего нецелесообразно.

Разработаны предварительные составы гипсобетонов с использованием осадка ВОС, физико-механические показатели которых позволяют сделать предположения о возможности их применения при производстве плит для возведения межкомнатных и межквартирных перегородок.

Наиболее эффективно применение осадка ВОС при производстве обжиговых керамических материалов

Следует отметить, что для практического использования осадка ВОС при получении строительных материалов и изделий требуется провести более подробные исследования, направленные на оптимизацию составов, исследование долговечности материалов и разработку конкретных технологических процессов, включая при необходимости вопросы подготовки осадков.

Литература

1. Благоразумова, А. М. (2014). Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: учебное пособие. 2-е издание. СПб.: Лань, 208 с.
2. Боженов, П. И., Глибина, И. В. и Григорьев, Б. А. (1986). Строительная керамика из попутных продуктов промышленности. М.: Стройиздат, 136 с.
3. Бойко, Е. В. (2006). Утилизация осадка в технологии подготовки питьевой воды. В: Материалы 19-й Международной научно-технической конференции «Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии», г. Уфа, 2–4 октября 2006, Т. 1. Уфа: Реактив, сс. 178–180.

4. Бухарина, Д. Н. (2006). Технологии ликвидации негативных воздействий осадков природных и сточных вод на окружающую среду. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: Северо-Западный государственный заочный технический университет.

5. Гириль, Н. Н., Гириль, А. Н., Якимчук, Б. Н., Бойчук, С. Д. и Мякишев, В. А. (2006). Обработка технологических стоков и утилизация осадков станций очистки питьевых вод. [online] Доступно по ссылке: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/764> [Дата обращения: 16.09.2020].

6. Кармазинов, Ф. В. (ред.) (2002). Отведение и очистка сточных вод Санкт-Петербурга. 2-е издание. СПб.: Новый журнал, 683 с.

7. Ладыгин, К. В. и Стомпель, С. И. (2019). Проблема очистных сооружений — избыточные иловые осадки. ЭКОИНЖ, № 19, сс. 41–43.

8. Лукашевич, О. Д. и Барская, И. В. (2007). Экологические проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод. Экология промышленного производства, № 3, сс. 68–75.

9. Свергузова, С. В., Сапронова, Ж. А., Шайхиев, И. Г., Фетисов, Р. О. и Шамшуров, А. В. (2012). Осадок водоочистки как порообразующая добавка к керамическим смесям. Вестник Казанского технологического университета, Т. 15, № 7, сс. 137–139.

10. Сулименко, Л. М. (2000). Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе. 3-е издание. М.: Высшая школа, 303 с.

11. Хамидов, М. Г. (2007). Опыт обработки водопроводных осадков на канализационных очистных сооружениях. Водоснабжение и санитарная техника, № 3, сс. 41–44.

12. Хамидов, М. Г. (2007). Технологическое взаимодействие коммунальных систем водоподготовки и канализации в процессах очистки воды и обработки осадков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: Московский государственный университет природообустройства.

13. Шахов, С. А., Рудая, Т. Л. и Кожемяченко, А. С. (2013). Изучение возможности применения осадка водоочистки при производстве строительной керамики. Известия вузов. Строительство, № 1 (649), сс. 54–61.

14. Шахов, С. А., Рудая, Т. Л. и Николаев, Н. Ю. (2015). Влияние осадка водоподготовки на спекаемость и структурно-механические свойства строительной керамики. Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения, № 1, сс. 42–48.

15. Шевченко, Л. (2005). Предотвращение загрязнений поверхностных водоисточников отходами водопроводных станций. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, Т. XIII, № 2, сс. 97a–102a.

16. Шевченко, Л. Я., Дрозд, Г. Я., Зотов, Н. И. и Маслак, В. Н. (2004). Осадки водопроводных станций: извлечение и утилизация. Луганск: Изд-во Луганского национального аграрного университета, 195 с.

References

1. Blagorzumova, A. M. (2014). *Treatment and dehydration of urban wastewater sludge: a study guide*. 2nd edition. Saint Petersburg: Lan, 208 p.

2. Bozhenov, P. I., Glibina, I. V. and Grigoryev, B. A. (1986). *Construction ceramics based on industrial by-products*. Moscow: Stroyizdat, 136 p.

3. Boyko, Ye. V. (2006). Sludge utilization in drinking water treatment technology. In: *Proceedings of the 19th International Scientific-Technical Conference “Chemical reagents, reactants*

and processes of low-tonnage chemistry”, Ufa, October2–4, 2006, Vol. 1. Ufa: Reaktiv, pp. 178–180.

4. Bukharina, D. N. (2006). *Technologies for eliminating the negative effects of natural and wastewater sludge on the environment*. Author’s abstract of PhD Thesis in Engineering. Saint Petersburg: Saint Petersburg State Open Technical University.

5. Girol, N. N., Girol, A. N., Yakimchuk, B. N., Boychuk, S. D. and Myakishev, V. A. (2006). *Treatment of process effluents and utilization of sludge from drinking water treatment plants*. [online] Available at: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/764> [Date accessed September 16, 2020].

6. Karmazinov, F. V. (ed.) (2002). *Discharge and treatment of waste waters in St. Petersburg*. 2nd edition. Saint Petersburg: Novy Zhurnal, 683 p.

7. Ladygin, K. V. and Stoppel, S. I. (2019). Problem of treatment facilities — excessive sludge deposits. ЭКОИНЖ, No. 19, pp. 41–43.

8. Lukashevich, O. D. and Barskaya, I. V. (2007). Environmental issues of treatment and utilization of sewage sludge. *Industrial Ecology*, No. 3, pp. 68–75.

9. Svergzuzova, S. V., Saponova, Zh. A., Shaykhiyev, I. G., Fetisov, R. O. and Shamshurov, A. V. (2012). Water treatment sludge as a pore-forming additive for ceramic mixtures. *Bulletin of Kazan Technological University*, Vol. 15, No. 7, pp. 137–139.

10. Sulimenko, L. M. (2000). *Technology of mineral binders and products on their basis*. 3rd edition. Moscow: Vysshaya Shkola, 303 p.

11. Khamidov, M. G. (2007). Experience of treatment of water line sludge at sewerage treatment facilities. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 3, pp. 41–44.

12. Khamidov, M. G. (2007). *Technological interaction of municipal water treatment and sewerage systems in water and sludge treatment*. Author’s Abstract of PhD Thesis in Engineering. Moscow: Moscow State University of Environmental Engineering.

13. Shahov, S. A., Rudaya, T. L. and Kozhemyachenko, A. S. (2013). Investigation of the possibility of using a water treatment sludge for production of building ceramics. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, No. 1 (649), pp. 54–61.

14. Shahov, S. A., Rudaya, T. L. and Nikolaev, N. Y. (2015). Influence of the water treatment sludge on caking and structural and mechanical characteristics of ceramics. *Siberian Transport University Bulletin*, No. 1, pp. 42–48.

15. Shevchenko, L. (2005). Reduction of effluents from water supply stations to surface water bodies. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, Vol. XIII, No. 2, pp. 97A–102A.

16. Shevchenko, L. Ya., Drozd, G. Ya., Zotov, N. I., Maslak, V. N. (2004). *Waterworks sludge: extraction and utilization*. Luhansk: Luhansk National Agrarian University, 195 p.

Автор:

Аубакирова Ирина Утарбаевна, канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: centeririna@spbgasu.ru

Author

Aubakirova Irina Utarbaevna, PhD in Engineering, Associate Professor

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia

E-mail: centeririna@spbgasu.ru