

Научная статья
УДК 691.342:628.33.8
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-566-575>

ПРИМЕНЕНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА

И.Л. Чулкова¹, О.Е. Смирнова², А.В. Красова²

¹ «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет» (СибАДИ),
г. Омск, Россия;

² «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»,
г. Новосибирск, Россия

le5@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4451-2297>
smirnova.olj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5067-2417>
krasova1981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2963-8783>

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассмотрена актуальная проблема утилизации техногенных отходов (осадка сточных вод). По литературным данным определены и рассмотрены возможные направления применения осадков сточных вод в производстве строительных материалов. Особое внимание уделено предложенному варианту систематизации материалов, в основу которого положена зависимость агрегатного состояния осадка от вида строительного материала. Предлагается использовать осадки сточных вод в качестве добавки, позволяющей улучшить подвижность бетонной смеси.

Методы и материалы. Исследования основных свойств сырьевых компонентов и бетона на их основе определяли с помощью стандартных методик и требований национальных стандартов. Вещественный и химический состав осадков, их физико-механические характеристики определены на базе лаборатории завода химконцентратов (г. Новосибирск).

Результаты. В результате проведенных экспериментальных работ определено оптимальное процентное содержание осадка сточных вод в составе тяжелого бетона, а также отношение химической модифицирующей добавки, исследован оптимальный состав бетона.

Заключение. В результате проведенных экспериментальных работ установлено влияние введения в состав бетона модифицированных пластифицирующими добавками осадков сточных вод. Установлено, что осадок сточных вод целесообразно применять в тяжелых бетонах в качестве корректирующей добавки, без снижения прочностных характеристик. В дальнейших исследованиях предполагается решить вопросы применения золы от сжигания осадка сточных вод, ее влияния на реологические свойства бетонной смеси; исследовать зависимость между химическим составом осадков и физико-механическими свойствами строительного материала.

КЛЮЧЕВЫЕ слова: бетон, добавка, осадок сточных вод, химический состав, прочность

Статья поступила в редакцию 01.02.2021; одобрена после рецензирования 05.10.2021; принята к публикации 31.10.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Чулкова И.Л., Смирнова О.Е., Красова А.В. Применение осадков сточных вод в производстве бетона // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18, № 5(81). С. 566-575. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-566-575>

© Чулкова И.Л., Смирнова О.Е., Красова А.В., 2021



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-566-575>

USE OF SEWAGE SLUDGE IN CONCRETE INDUSTRY

Irina L. Chulkova¹, Olga E. Smirnova², Anna V. Krasova²

¹Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk, Russia

²Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (SIBSTRIN), Novosibirsk, Russia

le5@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4451-2297>

smirnova.olj@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5067-2417>

krasova1981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2963-8783>

ABSTRACT

Introduction. The article deals with the actual problem of disposal of industrial waste (sewage sludge). According to the literature data, possible directions of the use of sewage sludge in the production of building materials are identified and considered. Special attention is paid to the proposed variant of systematization of materials, which is based on the dependence of the aggregate state of the sediment on the type of building material. It is proposed to use sewage sludge as a complex additive to improve rheological properties at all stages of heavy concrete hardening.

Methods and materials. Studies of the basic properties of raw materials and concrete based on them were determined using standard methods and the requirements of national standards. The material and chemical composition of the sediments, their physical and mechanical characteristics were determined on the basis of the laboratory of the plant of chemical concentrates (Novosibirsk).

Results. As a result of the experimental work, the optimal percentage of sewage sludge in the composition of heavy concrete was determined, as well as the ratio of the chemical modifying additive, the optimal composition of concrete was investigated.

Conclusion. As a result of the experimental work, the influence of the introduction of sewage sludge modified with plasticizing additives into the concrete composition was established. It has been established that sewage sludge is advisable to use in heavy concrete as a corrective additive without reducing the strength characteristics. In further studies, it is planned to solve the problems of structure formation and study of the interface between the phases of sewage sludge in the composition of concrete; to investigate the relationship between the chemical composition of precipitation and the physical and mechanical properties of a building material.

KEYWORDS: concrete, additive, sewage sludge, chemical composition, strength

The article was submitted 01.02.2021; approved after reviewing 05.10.2021; accepted for publication 31.10.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods.

There is no conflict of interest.

For citation: Chulkova I.L., Smirnova O.E., Krasova A.V. Use of sewage sludge in concrete industry. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (5): 566-575. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-566-575>

© Chulkova I.L., Smirnova O.E., Krasova A.V., 2021



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных эко-проблем мегаполисов является загрязнение рек и водоемов техногенными отходами, такими как сточные воды, несмотря на то что законодательными актами РФ запрещен сброс неочищенных сточных вод в водные объекты [1]. Переработка и обезвреживание осадка (далее ОСВ – осадок сточных вод) на очистных сооружениях, образовавшегося после очистки поверхностных сточных вод, – актуальный экологический вопрос. Целью работы является исследование целесообразности применения осадков сточных вод в производстве бетонных смесей, а также подбор оптимального состава бетона на основе ОСВ.

Обработка и утилизация осадков сточных вод является очень острой проблемой для крупных городов. Проведенный анализ отчетных данных о составе поверхностных сточных вод на территориях крупных агломераций выявляет повышенную степень их загрязнения.

Применение осадков сточных вод возможно при производстве [3, 4, 5]:

- керамзитового гравия (введение механически обезвоженных осадков сточных вод в количестве 3–5% к массе глины вместо традиционной добавки – опилок);
- стеновой керамики в качестве корректирующей добавки;
- бетона (заполнитель для бетона в виде гранул из смеси осадка с сухой золой ТЭЦ, молотой известью и гипсом);
- асфальтобетона;
- тяжелого, ячеистого бетона (в качестве добавки 0,2–0,5% по массе согласно литературным данным).

Достаточно часто осадок сточных вод применяют в качестве добавки в сырьевую массу при изготовлении керамических изделий [6]. Известный факт, что для улучшения свойств глинистого сырья при производстве керамических материалов вводят корректирующие добавки для достижения различных оптимальных параметров в зависимости от качества сырья и технологии производства материалов [3, 6]. В основном введением добавок пытаются улучшить формующую способность, а также сушильные и обжиговые свойства.

Использование осадков помимо очевидной актуальности представляет интерес, так как их состав и дисперсность предполагает определенное влияние на реологические характеристики глины. Вещественный и химический состав осадков сточных вод оказывает воздействие на процессы спекания при обжиге

керамической массы. Предполагается также возможность образования при обжиге различных соединений, которые могут сдерживать и уменьшать влияние тяжелых металлов в составе осадков сточных вод.

Решая экопроблему при утилизации осадков сточных вод в производстве строительных материалов, появляется возможность целенаправленного регулирования свойств строительной керамики для производства изделий с улучшенными эксплуатационными свойствами. Осадки обладают достаточно высокой адсорбцией, которая позволяет корректировать формовочные и сушильные показатели шихты [7]. При этом стоит отметить, что введение золы от сжигания осадка сточных вод понижает пластичность при значительном увеличении формовочной влажности керамической массы с 24,5 до 29,5%.

Согласно анализу литературных данных известно применение осадков, образующихся в результате очистки смеси городских и промышленных сточных вод, при изготовлении керамики (кирпич, черепица) [6, 8, 9, 10, 11]. При определенных соотношениях добавка таких осадков не вызывает снижения свойств получаемых керамических материалов. Также применяют осадки, содержащие ионы тяжелых металлов, при изготовлении кирпича, при этом осадок обезвоживают до 60–80% влажности и добавляют в сырьевую смесь на стадии ее гомогенизации в количестве до 5% [9]. Встречается способ [10] использования осадка при изготовлении добавок для регулирования свойств бетонных смесей, результатом является улучшение реологических показателей смесей. Известен способ подготовки вспучивающего компонента на основе обезвоженного осадка сточных вод кожевенных предприятий [11].

В Индии разработан способ применения отработанного асфальтового покрытия путем дробления его до 10 мм, 12,5 мм и 20 мм с добавлением 5% раствора золы от сжигания осадков сточных вод, техническим результатом которого является повышение прочностных характеристик бетона по сравнению с обычным заполнителем [12]. В Китае проводятся исследования по изучению механических свойств бетона, в котором применяется зола от шлама сточных вод в качестве частичной замены цемента [13].

На основании литературных данных и направлений исследования предлагается вариант систематизации материалов с применением осадков сточных вод (рисунок 1).

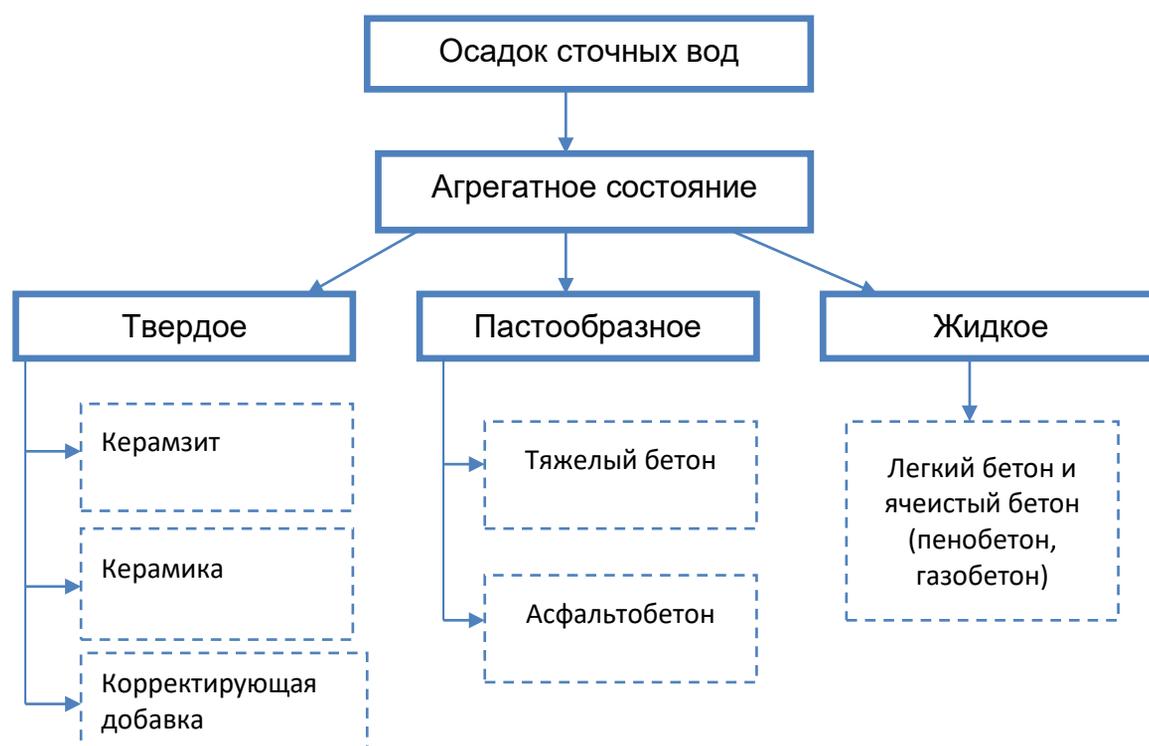


Рисунок 1 – Классификация утилизации осадков в производстве строительных материалов

Figure 1 – Classification of disposal of sludge in the production of building materials

В основу предлагаемой классификации положен признак агрегатного состояния ОСВ: твердое (зола от сжигания ОСВ, влажность 0,4–0,6%), пастообразное (осадок берется с отвалов, влажность 68–75%) и жидкое (осадок из первичных отстойников, влажность 92–96%).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На сегодняшний день не приведено теоретических основ, нет технологических приемов по переработке осадков поверхностных сточных вод с учетом требований по экологической и химической безопасности производства строительных материалов с добавкой сточных вод. Эти факторы сдерживают применение осадков поверхностных сточных вод в промышленности строительных материалов.

Предлагается использовать осадок сточных вод в качестве добавки, влияющей на подвижность бетонной смеси, а также позволяющей уменьшать водоцементное отношение и получать образцы с эксплуатационными характеристиками, соответствующими требованиям нормативных технических документов. В этом случае появляется возможность целенаправленно регулировать свойства бетонной

смеси и изготавливать материалы с заданными параметрами.

Для решения этих вопросов были исследованы свойства сырьевых компонентов, определены оптимальные соотношения осадка сточных вод в составе бетонной смеси, исследована возможность введения модифицированных пластифицирующими добавками осадков в бетон.

Осадки сточных вод – это водная суспензия, содержащая минеральные и органические вещества, разные по составу и происхождению, которая получается из сточных вод путем механической, биологической или реагентной очистки, при концентрации полидисперсной твердой фазы по объему 0,5–10% [14, 15, 16].

Осадки представляют собой труднообезвоживаемые полидисперсные суспензии, в которых влага находится в химической, физико-химической и физико-механической связи с твердыми частицами, а также в свободном виде. Объем осадков сточных вод находится в пределах 5% (иногда до 40%) от общего объема всех подвергаемых обработке поверхностных сточных вод. Процентное содержание по объему зависит от применяемого способа очистки и показателя влажности осадка. Влажность осадков высокая и составляет порядка

85% для предприятий стройиндустрии, и 99% влажностью характеризуется активный ил сооружений биологической очистки [17, 18, 19].

В исследовании применяется осадок поверхностных сточных вод, который берется с первичных отстойников. Такой осадок обладает влажностью 92–96%, большой неоднородностью состава, является суспензией серого цвета с кислым запахом. Размерность частиц осадка от 10–12 мм и больше до частиц коллоидной и молекулярной дисперсности. Температура осадка 12–20 °С, а показатель pH находится в пределах 6–8 ед. [20, 21].

При анализе применения осадка в качестве добавки рассмотрен его химический и гранулометрический состав. Наибольшую долю сухого вещества осадка из отстойников (65–78%), а также активного ила (72–76%) составляют органические соединения, порядка 45–48%, при этом жиры и углеводы составляют до 15 и 5% соответственно [22, 23].

Элементарный состав по сухому веществу осадка сточных вод, % по массе: С 35,0–87,5%, Н 4,8–8,9%, S 0,3–2,8%, N 1,7–8,3%, O 7,5–35,9%.

Для активного ила элементарный состав по сухому веществу в % по массе содержит: С 43,4–76,2%, Н 5–8,2%, S 0,9–2,7, N 3,3–9,8%, O 12,5–43,2% [24, 25, 26, 27, 28].

Общий химический состав осадков, %, к абсолютно сухому веществу приведен в таблице 1.

Химический состав минеральной части осадков, % к абсолютно сухому веществу приведен в таблице 2.

В работе использовался портландцемент (портландцемент со шлаком ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б) соответствует требованиям нормативно-технической документации.

Применялся щебень из альбитофира фракции от 5 до 20 мм, ООО «Усть-Каменский карьер», без содержания глины в комках. Щебень марки по прочности или дробимости М1400, марка по истираемости И1. Зерна слабых пород отсутствуют. Морозостойкость щебня (марка F300). Щебень имеет насыпную плотность 1430 кг/м³. Устойчивость структуры щебня против распадов, %: 1,2. Аэфф естественных радионуклидов, Бк/кг: 95,3±12,5.

Химический состав щебня: SiO₂ – 48–65%, Al₂O₃ – 15–18%, CaO – 3,5–10,5 %, MgO – 2,1–7,2 %, SO₃ – 0,38–1,01 %, Fe₂O₃ – 7,0–12,5%.

В работе в качестве мелкого заполнителя применялся песок АО «Левобережный песчаный карьер» с. Марусино. Основные свойства песка определялись с учетом требований нормативно-технических документов: содержание пылевидных и глинистых частиц – 1,2%; насыпная плотность – 1550 кг/м³; влажность – 3,6%; глина в комках – отсутствует; удельная, эффективная активность естественных радионуклидов в песке ЕРН (Аэфф) – 49,6 Бк/кг. Модуль крупности (Мк) составляет 1,83 — мелкий песок.

В качестве модификаторов применяли пластифицирующие добавки «Штайнберг» F-10, S-3Н, GROS-63 МА и добавку GLENIUM SKY 591.

Таблица 1
Химический состав осадков, %

Table 1
Chemical composition of precipitation, %

Тип осадков	Зола	Альфа-целлюлоза	Гемиллюлоза	Белки	Жиры	Общий азот	Фосфор
Первичные сырые ОСВ	15–35	5,5–5	5–7	15–21	18–26	3,2–3,8	1,4–2,5

Таблица 2
Химический состав минеральной части осадков, %

Table 2
Chemical composition of the mineral part of sediments, %

Тип осадков	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	ZnO	CuO	NiO	Cr ₂ O ₃
Первичные сырые ОСВ	28,4–55,9	0,3–18,9	3,0–13,9	11,8–35,9	2,1–4,3	0,7–3,4	0,8–4,2	1,8–7,5	0,1–0,6	0,1–0,8	0,2–2,9	0,8–3,1

Таблица 3
Свойства бетонных образцов с учетом варьирования доли добавки осадка сточных вод

Table 3
Properties of concrete specimens taking into account the variation in the proportion of the addition of sewage sludge

№ образца	Отклик $Y_1, R_{сж}$ (МПа) цемент: осадок сточных вод				Отклик Y_2, ρ_m (кг/м ³) цемент: осадок сточных вод			
	100:0,1	100:0,3	100:0,6	100:1	100:0,1	100:0,3	100:0,6	100:1
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_1	X_2	X_3	X_4
1	40,6	41,5	43,1	40,6	2343	2367	2406	2456
2	40,5	39,7	41,2	42,4	2321	2355	2409	2469
3	40,8	40,5	40,8	41,1	2340	2357	2414	2445

Для приготовления бетонной смеси произведен подбор состава: портландцемент ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б (ПЦ 400-Д20) – 300 кг/м³; щебень – 1165 кг/м³; песок, – 736 кг/м³, воды – 168 л/м³. Водоцементное отношение – 0,56. Показатели прочности при сжатии ($R_{сж}$) стандартного бетонного образца в возрасте 3 сут. – 22,2 МПа; 7 сут. – 30,3 МПа; 28 сут. – 40,3 МПа.

Для определения влияния модифицированных пластифицирующими добавками осадков сточных вод на состав бетона был применен дисперсионный анализ. По фактору X_1 была взята доля введения осадков сточных вод, % по массе. Долю введения осадка сточных вод варьировали на 4 уровнях. В качестве откликов рассматривали свойства бетонных образцов: прочность при сжатии – Y_1 , среднюю плотность – Y_2 .

Далее был составлен план эксперимента и проведены испытания бетонных образцов с варьированием доли добавки осадка сточных вод (таблица 3).

В результате дисперсионного анализа необходимо было оценить линейные эффекты фактора на отклики эксперимента. Для этого решали уравнение

$$SS_{\text{общ.}} = SS_X + SS_{\text{ост}}$$

где $SS_{\text{общ.}}$ – общая сумма квадратов для фактора X ; SS_R – сумма квадратов отклонений для фактора X ; $SS_{\text{ост}}$ – остаточная сумма квадратов, так называемая характеристика ошибки опыта.

Значимость факторов оценивалась по расчетному показателю критерия Фишера. Результаты, которые получили в результате однофакторного дисперсионного анализа, приведены на рисунке 2.

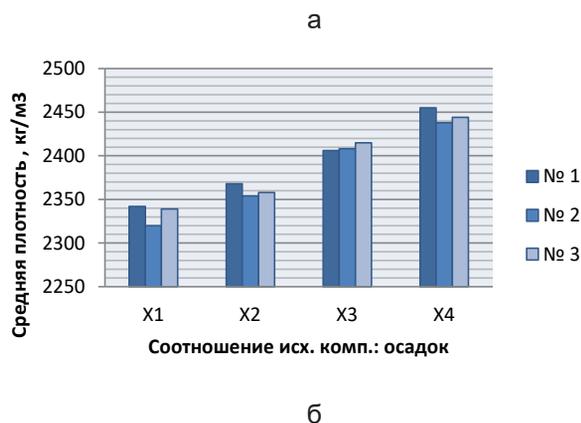


Рисунок 2 – Влияние осадка на свойства бетонной смеси

Figure 2 – Effect of sediment on concrete properties

На рисунке 2, а варьирование в сторону увеличения с 0,1 до 1% массовой доли осадка (от содержания цемента) приводит к увеличению средней плотности бетонных образцов, но значение не превышает 2500 кг/м³. Согласно рисунку 2, б показатели прочности на сжатие бетонных образцов составляют более 32,7 МПа прочности в возрасте 28 сут и соответствуют нормативным требованиям.

Таблица 4
Составы бетона с модифицированным осадком сточных вод

Table 4
Concrete compositions with modified sewage sludge

№	Компоненты смеси на 1 м ³				Добавка			
	Цемент, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, л	Пластификатор	Дозировка, % от массы цемента	Осадок сточных вод, л	Дозировка, % от массы цемента
1	300	1165	736	168	F-10	1	1,8	0,6
2	300	1165	736	168	S-3H	1	1,8	0,6
3	300	1165	736	168	GROS-63 MA	1	1,8	0,6
4	300	1165	736	168	SKY 591	1	1,8	0,6

Проведенные исследования показали, что осадок сточных вод может быть использован в качестве добавки при производстве тяжелого бетона для соответствующей области применения, оптимальным соотношением введения осадка является 0,6% от массы цемента.

Для повышения прочности, подвижности с П2 до П5 (что соответствует товарному бетону) осадок сточных вод модифицирован суперпластификатором. Осадок сточных вод перемешивался с пластификатором до получения однородной массы, далее вводился в бетонную смесь. Результаты представлены в таблице 4.

На рисунке 3 график изменения прочности бетона наглядно показывает, как влияет модифицирование осадка сточных вод (0,6% от массы цемента) разными пластификаторами на прочность образцов бетона.

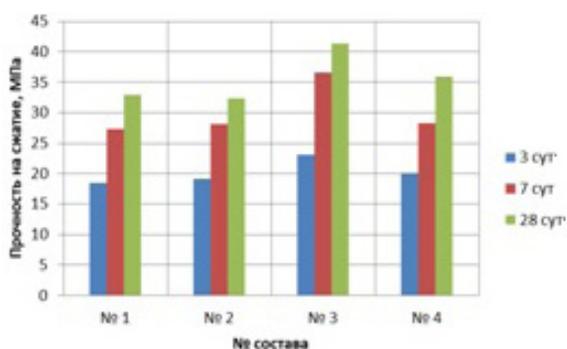


Рисунок 3 – Влияние модифицирующих добавок на прочность материала

Figure 3 – Influence of modifying additives on material strength

Определена осадка конуса для бетонной смеси на основе ОСВ и четырех видов пластификаторов (рисунок 4).

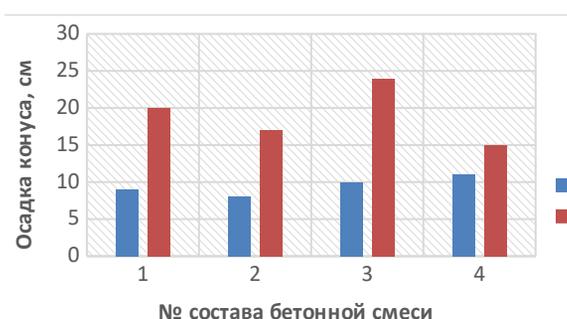


Рисунок 4 – Влияние модифицирующих добавок на подвижность бетонной смеси (1-й ряд – контрольный состав, без введения ОСВ; 2-й ряд – состав с ОСВ и пластификатором)

Figure 4 – The influence of modifying additives on the mobility of the concrete mixture (row 1 - control composition, without introducing sediment, row 2 - composition with sediment and plasticizer)

Установлено, что при модифицировании ОСВ добавкой №3 (GROS-63 MA, производство Штайнберг-Хеми) подвижность бетонной смеси увеличилась с П2 до П5 (осадка конуса составила 24 см). Агрегатное состояние осадков сточных вод пастообразное, оно способствует повышению пластичности бетонной смеси. Таким образом в процессе модифицирования пластифицирующей добавкой этот эффект усиливается.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предлагается вариант систематизации материалов с применением осадков сточных вод, в основу которого положена зависимость агрегатного состояния осадка от вида строительного материала.

Установлено, что осадок сточных вод возможно применять в тяжелых бетонах в качестве корректирующей добавки, без снижения прочностных характеристик.

Установлено оптимальное соотношение ОСВ, равное 0,6% по массе, дальнейшее увеличение содержания ОСВ приводит к снижению прочностных характеристик смеси.

По результатам экспериментальных исследований подобран рациональный состав бетона: портландцемент ЦЕМ II/A-Ш 32,5Б (ПЦ 400–Д20) – 300 кг/м³; щебень – 1165 кг/м³; песок – 736 кг/м³; осадок сточных вод – 1,8 л/м³; вода – 168 л/м³.

Разработан состав бетона на основе модифицирующей добавки (осадок сточных вод + химическая добавка Штайнберг GROS-63 МА), обладающий в возрасте 3 сут прочностью при сжатии – 23,1 МПа, в возрасте 28 сут прочностью при сжатии – 41,4 МПа. Добавление модифицирующей добавки (осадок сточных вод + химическая добавка Штайнберг GROS-63 МА) влияет на подвижность бетонной смеси, которая увеличивается с П2 до П5.

В дальнейших исследованиях предполагается решить вопросы применения золы от сжигания осадка сточных вод, ее влияния на реологические свойства бетонной смеси; исследовать зависимость между химическим составом осадков и физико-механическими свойствами бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Москвичева А.В., Доскина Э.П., Москвичева Е.В. Осадки сточных вод или отходы: вопросы правового регулирования // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 4. С. 18–22.
2. TikhareliV D, TikhareliV D Investigation of Mechanism of Action of Modifying Admixtures Based on Products of Petrochemical Synthesis on Concrete Structure // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 (2017) 012007, doi:10.1088/1757-899X/262/1/012007
3. Поляков Г.Н., Святская Л.И., Левит И.М. Внедрение технологии производства керамического кирпича с добавкой золы от сжигания осадков сточных вод // Строительные материалы. 2002. № 10. С. 28–29.
4. Pimenov A.T., Smirnova O.E., Ottochko S.Y. Use of metallurgical slags in mortar production // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018: 012023.
5. Обезвреживание сточных вод в промышленности бетона (Великобритания) // Бюллетень иностранной научно-технической информации по строительству, архитектуре, строительным материалам, конструкциям и жилищно-коммунальной сфере. 2015. № 3. С. 14–15.
6. Кучерова Э.А., Паничев А.Ю. Введение осадков сточных вод гальванических производств в массы стеновой керамики // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1992. № 5. С. 16–22.
7. Цыбина А.В., Дьяков М.С., Вайсман Я.И. Состояние и перспективы обработки и утилизации осадков сточных вод // Экология и промышленность России. 2013. № 12. С. 56–61.
8. Дрегуло А.М. Исследование составов тяжелых металлов и фосфатов в полимерных веществах биомассы активных илов // Вода и экология: проблемы и решения изд-во: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2020. № 3(83). С. 8–13.
9. Борзова Ю.С. Использование экологически безопасных технологий очистки сточных вод // YoungScience. 2014. № 1. С. 16–17.
10. Белюченко И.С. Осадки сточных вод, их очистка и использование // Экологический вестник Северного Кавказа. 2016. Т. 2016. № 1. С. 82–95.
11. Валеев В.Х., Сомова Ю.В., Сомов В.А. Исследование возможности использования осадков сточных вод очистных сооружений в качестве удобрения // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. № 3(14). С. 69–73.
12. Prabhanjan N., Yadav G.S., Sahithi G., Sravanthi B. and Tipraj B. Assesment to Increase the Mechanical Properties of used Ballast by EDTA Solution as a Construction // Material International Journal of Recent Technology and Engineering 5 (2020) pp. 157-160.
13. Doh S. I., Muhammad Aizat A., Chin S. C., Jing G. Q. Mechanical properties of concrete containing microwaved sewage sludge ash as partial cement replacement // National Colloquium on Wind & Earthquake Engineering IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 244 (2019) 012027 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/244/1/012027
14. Bahadori, H., & Hosseini, P. Reduction of cement consumption by the aid of silica nano-particles (Investigation on concrete properties) // Journal of Civil Engineering and Management, 2012, 18: 416–425, doi:10.3846/13923730.2012.698912
15. Ribeiro, A. Mix design process of polyester polymer mortars modified with recycled GFRP waste materials // Fiúza, A.C.M., Castro, F.G., Silva, M.L., Dinis, J.P., Meixedo, M.R. / Composite Structures Volume 105, November 2013, p. 300-310, doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.05.023
16. Vyboishchik A V, Kostyunina I L Contemporary methods of production of pigments obtained from non-ferrous industrial waste // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 451 (2018) C. 012003, doi:10.1088/1757-899X/451/1/012003
17. Залетова Н.А., Воронов Ю.В. Новые технологии для решения современных задач очистки сточных вод // Вестник МГСУ. 2012. № 2. С. 109–111.
18. Васильев С.М., Домашенко Ю.Е., Ляшков М.А. Определение зон разбавления при повторном использовании сточных вод на оросительных системах // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 2 (22). С. 17–29.
19. Yu S, Wang B, Pan Y, Chen Z, Meng F, Duan S, Cheng Z, Wu L, Wang M and Ma W 2018 Cleaner production of spherical nanostructure chromium oxide (Cr₂O₃) via a facile combination membrane and hydrothermal approach // Journal of Cleaner Production, 176, p. 636-644, doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.108

20. Меркина И.В. Утилизация твёрдых отходов источников вод в программе предотвращения загрязнения окружающей среды (Австралия) // ВНИИИТ-ПИ. Строительство и архитектура. Сер. Инженерное обеспечение объектов строительства и ЖКХ: экспресс-информ. 2007. № 4. С.77–78.

21. Sokolov P. E., Sentenberg S. A. Application of clusterization algorithms for building materials classification on radioactivity in R // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 687 (2019), С. 022003, doi:10.1088/1757-899X/687/2/022003 1

22. Крашенинникова С.В. Влияние урбанизированных территорий на формирование поверхностного стока. Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2008. № 10(4). С.119–121.

23. Mestnikov A E, Fedorov V I Porous filler from foam-zeolite and light concretes based on it for conditions of the Arctic and the North//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 687 (2019), С. 022027, doi:10.1088/1757-899X/687/2/022027

24. Шонина Н.А. Водоснабжение и водоотведение в условиях Крайнего Севера // Сантехника. 2012. № 5. С. 15–24.

25. Амбросова Г.Т., Кругликова А.В., Мансуров Р.Ш., Рафальская Т.А., Тимофеев С.Л. Влияние природно-климатических факторов на эффективность работы открытых очистных сооружений канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 4. С. 48–59.

26. Горбачева Т.Т., Майоров Д.В. Пробное коагулирование осветленных коммунальных стоков в реагентном удалении фосфора // Вестник современных исследований. 2018. № 12.1 (27). С. 504–508.

27. Randall, A. A, Chen, Y. and McCue, T. The efficiency of enhanced biological phosphorus removal from real wastewater affected by different ratios of acetic to propionic acid // Water Research, 2014, vol. 38, issue 1, pp. 27–36. doi: 10.1016/j. watres.2003.08.025.

28. Setegn, S. G. Water resources management for sustainable environmental public health. // Setegn, S. G., Donoso, M. C. (eds.) /Sustainability of integrated water resources management: water governance, climate and ecohydrology. Cham: Springer, 2015: 275–287. doi: 10.1007/978-3-319-121949_15.

REFERENCES

1. Moskvicheva A.V., Doskina E.P., Moskvicheva E.V. Osadki stochnyh vod ili othody: voprosy pravovogo regulirovaniya [Sewage sludge or waste: the issues of legal regulation]. *Vodosnabzhenie i sanitarnayatekhnika*, 2016, 4: 18-22. (in Russian)

2. Tukhareli V.D, Tukhareli V.D. Investigation of Mechanism of Action of Modifying Admixtures Based on Products of Petrochemical Synthesis on Concrete Structure. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 262 (2017) 012007, doi:10.1088/1757-899X/262/1/012007

3. Polyakov G.N., Svyatskaya L.I., I.M. Levit I.M. Vnedrenie tekhnologii i proizvodstva keramicheskogo kirpicha s dobavko jzolyotshiganiyaosadkovstochnyhvod [Introduction of technology for the production of

ceramic bricks with the addition of ash from the combustion of sewage sludge]. *Stroitel'nyematerialy*, 2002, 10: 28-29. (in Russian)

4. Pimenov A.T., Smirnova O.E., Ottochko S.Y. Use of metallurgical slags in mortar production. *In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, 012023.

5. Obezvrezhivanie stochnyh vod v promyshlennosti betona (Velikobritaniya) [Waste water Treatment in the concrete industry (UK)] *Bulletin of foreign scientific and technical information on construction, architecture, building materials, structures and housing and communal services* 2015, 3: 14-15. (in Russian)

6. Kucherova, E.A., Panichev A.YU. Vvedenieosadkovstochnyhvodgal'vanicheskikhproizvodstv v massy stenovojkeramiki [Introduction of waste water sediments of electroplating industries into the mass of wall ceramics]. *Izvestiyavuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*, 1992, 5:16-22. (in Russian)

7. Cybina A.V., D'yakov M.S., Vajsman YA.I. Sostoyanie i perspektivy obrabotki i utilizacii osadkov stochnyh vod [State and prospects of treatment and utilization of sewage sludge]. *Ecology and industry of Russia*, 2013, 12: 56–61. (in Russian)

8. Dregulo A.M. Issledovanie sostavov tyazhelyh metallov i fosfatov v polimernyh veshchestvah biomass syaktivnyhilov [Investigation of the compositions of heavy metals and phosphates in polymer substances of active sludge biomass]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniyaizd-vo: Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny arhitekturno-stroitel'nyjuniversitet*, 2020, 3 (83): 8-13. (in Russian)

9. Borzova YU.S., Ispol'zovanie ekologicheskibezopasnyhtekhnologijochistkistochnyhvod [Use of environmentally friendly wastewater treatment technologies]. *Young Science*, 2014, 1: 16-17. (in Russian)

10. Belyuchenko I.S., Osadkistochnyhvod, ihochistka i ispol'zovanie [Sewage sludge, its treatment and use]. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2016, 1: 82-95. (in Russian)

11. Valeev V.H., Somova YU.V., Somov V.A., Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya osadkov stochnyh vod ochistnyhsooruzhenij v kachestveudobreniya [Investigation of the possibility of using sewage sludge from wastewater treatment plants as fertilizer]. *Izvestiyavuzov. Prikladnayahimiya i biotekhnologiya*, 2015, 3(14): 69-73.

12. Prabhanjan N., Yadav G.S., Sahithi G., Sra-vanthi B. and Tipraj B. Assesment to Increase the Mechanical Properties of used Ballast by EDTA Solution as a Construction *In the collection: Material International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2020 : 157-160.

13. Doh S. I., Muhammad Aizat A., Chin S. C., Jing G. Q. Mechanical properties of concrete containing microwaved sewage sludge ash as partial cement replacement *In the collection: National Colloquium on Wind & Earthquake Engineering IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2019, C 012027 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/244/1/012027

14. Bahadori, H., & Hosseini, P. Reduction of cement consumption by the aid of silica nano-particles

(Investigation on concrete properties). *Journal of Civil Engineering and Management*, 2012, 18: 416–425, doi:10.3846/13923730.2012.698912

15. Ribeiro, A. Mix design process of polyester polymer mortars modified with recycled GFRP waste materials. Fiúza, A.C.M. Castro, F.G. Silva, M.L. Dinis, J.P. Meixedo, M.R. *Composite Structures* 2013, 105: 300-310 doi.org/10.1016/j.compstruct.2013.05.023

16. Vyboishchik A.V., Kostyunina I.L. Contemporary methods of production of pigments obtained from non-ferrous industrial waste. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 451 (2018) C. 012003, doi:10.1088/1757-899X/451/1/012003

17. Zaletova N.A., Voronov YU.V., Novyetechnologiyaresheniyasovremennyhzadachochistkistochnykhvod [New technologies for solving modern problems of wastewater treatment]. *Vestnik MGSU*, 2012, 2: 109-111.

18. Vasil'ev S.M., Domashenko YU.E., Lyashkov M.A., Opredelenie zon razbavleniya pri povtornom ispol'zovanii stochnykh vod na orositel'nykh sistemah [Determination of dilution zones for wastewater reuse in irrigation systems]. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*, 2016, 2 (22): 17-29.

19. Yu S, Wang B, Pan Y, Chen Z, Meng F, Duan S, Cheng Z, Wu L, Wang M and Ma W 2018 Cleaner production of spherical nanostructure chromium oxide (Cr₂O₃) via a facile combination membrane and hydrothermal approach// *Journal of Cleaner Production*, 176, pp. 636-644, doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.108

20. Merkina I.V. Utilizacija tvjordyh othodov istochnykh vod v programme predotvrashheniya zagryazneniya okruzhajushhej sredy (Avstralija) [Disposal of solid waste and wastewater in the environmental pollution prevention program (Australia)]. *VNIINTPI. Stroitel'stvo i arhitektura. Ser. Inzhenernoe obespechenie ob"ektov stroitel'stva i ZHKKH: ekspres-inform*, 2007, 4: 77-78.

21. Sokolov P. E., Sentenberg S. A. Application of clusterization algorithms for building materials classification on radioactivity in R. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 687 (2019), C. 022003, doi:10.1088/1757-899X/687/2/022003 1

22. Krashenninnikova S.V. Vliyaniye urbanizirovannyh territorij na formirovaniye poveryhnostnogostoka [Influence of urbanized areas on the formation of surface runoff]. *Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo*. 2008, 10(4):119-121.

23. Mestnikov A E, Fedorov V. I. Porous filler from foam-zeolite and light concretes based on it for conditions of the Arctic and the North. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 687 (2019), C. 022027, doi:10.1088/1757-899X/687/2/022027

24. SHonina N.A. Vodosnabzhenie i vodootvedenie v usloviyah Krajnego severa [Water supply and sanitation in the Far North]. *Santekhnika* [Plumbing], 5, 2012: 15-24.

25. Ambrosova, G. T., Kruglikova, A. V., Mansurov, R. SH., Rafal'skaya, T. A. i Timofeev, S. L. Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na effektivnost' raboty kryptykhochistnyh sooruzhenij kanalizacii [Influ-

ence of natural and climatic factors on the efficiency of open sewage treatment plants]. *Vodosnabzhenie i sanitarnayatehnika* [Water supply and sanitary equipment], 2019, 4: 48–59.

26. Gorbacheva, T.T., Majorov, D.V. Probnoe koagulirovaniye osvetlennykh kommunal'nykh stokov v reagentnom udaleniye fosfora [Trial coagulation of clarified municipal wastewater in reagent phosphorus removal]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2018, 12.1 (27): 504–508.

27. Randall, A.A., Chen, Y. and McCue, T. The efficiency of enhanced biological phosphorus removal from real wastewater affected by different ratios of acetic to propionic acid. *Water Research*, 2014, 38(1): 27–36. doi: 10.1016/j.watres.2003.08.025.

28. Setegn, S. G. Water resources management for sustainable environmental public health. Setegn, S. G., Donoso, M. C. (eds.). *Sustainability of integrated water resources management: water governance, climate and ecohydrology*. Cham: Springer, 2015: 275–287. doi: 10.1007/978-3-319-121949 15.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Чулкова И.Л. Руководство процессом разработки темы.

Смирнова О.Е. Выбор направления и темы исследования. Разработка методологии исследований.

Красова А.В. Анализ состояния вопроса. Обработка результатов.

CO-AUTHORS' CONTRIBUTION

Irina L. Chulkova, guiding the process of developing the topic.

Olga E. Smirnova, selection of the direction and topic of the research. Development of the research methodology.

Anna V. Krasova, analysis of the status of the issue, processing of the results.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чулкова Ирина Львовна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Организация, технологии и материалы в строительстве»

Смирнова Ольга Евгеньевна – канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой «Строительные материалы, стандартизация, сертификация»

Красова Анна Викторовна – аспирант кафедры «Строительные материалы, стандартизация, сертификация»

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina L. Chulkova (Omsk, Russia) – Dr. of Sci., Professor, Professor of the Organisation, Technology and Materials in Construction Department

Olga E. Smirnova (Novosibirsk, Russia) – Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Building Materials, Standardization, Certification Department

Anna V. Krasova (Novosibirsk, Russia) – Postgraduate the Building Materials, Standardization, Certification Department