

- Эдуард Иванович МИХНЕВИЧ, доктор технических наук, профессор кафедры "Водоснабжение и водоотведение" Белорусского национального технического университета
- Эдуард Иванович БАТЯНОВСКИЙ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Технология бетона и строительные материалы" Белорусского национального технического университета
- Виктор Николаевич ЯРОМСКИЙ, кандидат технических наук, доцент кафедры "Водоснабжение и водоотведение" Белорусского национального технического университета
- Майя Геннадиевна БОРТНИЦКАЯ, старший преподаватель кафедры "Технология бетона и строительные материалы" Белорусского национального технического университета

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

THE USE OF THE SEWAGE SLUDGE OF PAPER INDUSTRIES AS HEAT-INSULATING MATERIALS

В статье представлены результаты исследований по утилизации осадков сточных вод предприятий бумажной промышленности. Исследования выполнены на реальном осадке сточных вод завода газетной бумаги (г. Шклов). Установлено, что обезвоженный осадок можно использовать в качестве выгорающей добавки при получении аглопорита, керамзита, глиняного кирпича, а также в качестве теплоизолирующего материала со средней плотностью менее 150 кг/м³.

The results of the research of the sewage sludge disposal of paper industries are given in this article. The research has been carried out on actual sewage sludge of the newsprint factory in the town of Shklov. It has been established that dry sludge can be used as a burnable additive when obtaining agloporit, expanded clay aggregate, clay brick, as well as heat-insulating material with mean density less than 150 kg/m³.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема утилизации осадков производственных сточных вод приобретает особое значение, так как решает не только природоохранную задачу, но и экономическую, содействуя восполнению сырьевых и материальных ресурсов страны, а в отдельных случаях может способствовать импортозамещению [1]. В [2] представлены результаты исследований состава и свойств осадков сточных вод предприятий бумажной промышленности. Исследования проводили на очистных сооружениях завода газетной бумаги (г. Шклов). В результате исследований установлено, что обезвоженный осадок имеет следующие основные показатели: насыпная плотность — 735–750 кг/м³; влажность — 69 %–74 %; сухое вещество — 25 %–30 %; зольность — 37 %–43 %; содержание кальция — 7,62 %–12,02 %; содержание двуокиси кремния — 4,9 %–15,0 %; pH — 8,1–8,5. В осадке также содержится незначительное количество биогенных веществ и тяжелых металлов.

Кроме указанных химических веществ, в обезвоженном осадке имеется шламлингин, содержащий высокомолекулярные соединения лигнина и его производных — 55 %–60 %, волокна — 8 %–10 %. Анализ состава и свойств обезвоженного осадка сточных вод предприятий бумажной промышленности показал, что наиболее рациональной областью его утилизации является производство строительных материалов.

Цель исследований заключалась в определении возможности использования осадка как основы для получения строительных материалов, в частности как теплоизоляционного или исходного вещества при производстве легких заполнителей для бетона, утепляющих засыпок и др. Общая методика исследований включала оценку физических свойств осадка: плотности, влажности, сорбционной влажности, теплопроводности, воз-

можности формования гранул и пластин и других, чтобы на основе этих данных определить область его возможного применения. Испытания проводили по стандартизированным и оригинальным методикам, особенности которых указаны в статье.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с поставленной целью выполнена оценка свойств осадка и осуществлены эксперименты по установлению его формуемости, то есть возможности получения гранулированного материала для изделий в форме плит (мягких и жестких); сорбционной влажности сухого материала (для оценки влагоемкости и возможных изменений этого показателя в процессе использования теплоизолирующих изделий или засыпок); по отношению к высокотемпературному воздействию и изменению его свойств (для определения критической эксплуатационной температуры); по оценке теплозащитной функции измельченного высушенного осадка как возможного утеплителя, а также выполнен анализ имеющихся в технической литературе вариантов и технологий его возможного использования в строительстве или иных отраслях.

Влажность осадка (отношение массы воды в образце к массе сухого материала) определяли в соответствии с положениями ГОСТ 17177-94 "Материалы и изделия теплоизоляционные. Методы испытаний". Результаты определения влажности осадка приведены в табл. 1. Таким образом, в одной весовой единице исходного материала содержится примерно 23 % твердой фазы материала и примерно 77 % воды.

Сорбционную влажность определяли в соответствии с положениями ГОСТ 17177 по методу ускоренного определения сорбционной влажности. Для проведения испытания использовали пробы материала после

Таблица 1. Данные о влажности осадка

Номер образца	Масса стаканчика, г			Влажность W , %
	с пробой до высушивания m_1	с пробой, высушенной до постоянной массы m_2	m_3	
1	24,19	12,84	9,47	336,8
2	22,09	12,72	9,95	338,3
3	19,21	12,35	10,28	331,4
4	16,40	11,61	10,21	342,1
Среднее значение влажности				337,2

Таблица 2. Данные о сорбционной влажности осадка

Номер образца	Масса стаканчика, г			Сорбционная влажность образца $W_{сорб}$, %
	с пробой после выдерживания над водой m_1	с пробой, высушенной до постоянной массы m_2	m_3	
1	48,46	47,69	8,36	1,96
2	34,94	34,60	12,33	1,53
Среднее				1,75
3*	10,85	10,55	—	2,84

* Гранулированный образец пробы.

Таблица 3. Изменение влажности осадка в естественных условиях

Продолжительность эксперимента, сут	№ 1			№ 2		
	Масса, г	Изменение влажности, %		Масса, г	Изменение влажности, %	
		Δ	Всего		Δ	Всего
—	40,10	—	—	10,60	—	—
1	40,24	0,35	0,35	10,61	0,09	0,00
2	40,30	0,15	0,50	10,62	0,09	0,18
10	40,65	0,87	1,37	10,63	0,09	0,27

Таблица 4. Определение средней плотности влажного осадка

№ п/п	Масса сосуда, кг	Масса сосуда с осадком, кг	Объем сосуда, м ³	Плотность материала, кг/м ³
1	0,230	0,795	0,001	565
2	0,230	0,830	0,001	600
3	0,230	0,805	0,001	575
Среднее	—	—	—	580

Таблица 5. Определение плотности высушенного осадка

№ п/п	Масса пробы рыхлого волокнистого материала m , кг	Внутренний радиус цилиндра R , м	Высота сжатого слоя материала в цилиндре h , м	Объем, занимаемый пробой под нагрузкой V , м ³	Влажность материала W , %	Плотность материала ρ , кг/м ³
1	0,2	0,054	0,061	0,000559	—	358
2	0,2	0,054	0,059	0,000540	—	370
3	0,2	0,054	0,065	0,000595	—	336
Среднее	—	—	—	—	—	353

определения на них влажности. Сорбционную влажность определяли по массе воды, сорбированной образцом проб сухого материала, выдержанных над водой в эксикаторе в течение 24 ч (то есть в условиях, близких к 100%-ной влажности воздушной среды).

Из результатов определения сорбционной способности сухого исходного осадка (табл. 2) следует, что материал способен поглощать влагу из воздуха. Величина показателя менее 2 % по массе относительно невелика.

В табл. 2 под образцом № 3* приведены данные сорбционной влажности пробы осадка, подготовленной

в виде высушенных гранул ($d \sim 15-20$ мм). Очевидно за счет более развитой капиллярной пористости в их объеме (при возросшем размере относительно частиц измельченного исходного материала проб № 1 и 2) сорбционная влажность (в условиях практически предельной влажности воздуха в эксикаторе $\varphi \sim 100$ %) несколько возросла, составив $\sim 2,8$ %.

Естественная сорбционная влажность — способность сорбировать влагу воздуха естественной окружающей среды ($\varphi \sim 70$ %) — проверена на пробах высушенного материала, которые выдерживали в течение 10 дней на воздухе в помещении (температура менялась от 16 °С до 10 °С). Наблюдали две пробы материала из осадка, высушенного при температуре 100 °С в течение 12 ч до постоянной массы. В табл. 3 приведены результаты такой оценки для пробы № 1 — исходный высушенный осадок и пробы № 2 — гранулы осадка.

Первая проба показала незначительное, но постоянное увеличение сорбционной влажности, масса второй пробы изменялась в меньшей степени. Вместе с тем очевидно, что высушенный осадок обладает сорбционной способностью и может в процессе эксплуатации накапливать влагу. Результатом может явиться изменение теплозащитных свойств (увеличение теплопроводности). Кроме того, следует учитывать его органическую природу и подверженность разложению во влажной среде с течением времени.

Далее определяли плотность влажного осадка. Результат определения средней плотности влажного осадка представлен в табл. 4.

Результаты определения плотности высушенного осадка представлены в табл. 5. Из анализа следует, что высушенный исходный (грубоизмельченный) осадок соответствует по средней плотности марке примерно Д350. Предварительные опыты показали, что при разрыхлении сухого осадка до размеров частиц менее 3–5 мм его средняя плотность может быть понижена до 150 кг/м³ и менее, что создает основу для получения достаточно эффективного теплоизоляционного материала.

С целью изучения возможности использования осадка как утеплителя материал подвергали сушке при $T_c = 100$ °С в течение 11–12 ч, а затем использовали высушенную массу для определения фракционного состава, коэффициента теплопроводности, насыпной плотности.

Для определения содержания в осадке частиц различного размера пробы высушенного осадка были рассеяны на наборе сит с размером ячеек 10, 7, 5, 3, 2 и 1 мм. Результаты рассева представлены в табл. 6.

Отдельные фракции осадка отличаются размером частиц: фракция более 10 — крупные плоские комки спрессованной пульпы (рис. 1); фракции 7–10 и 5–7 отличаются меньшим размером комков (рис. 2, 3);

Таблица 6. Результаты рассева высушенного осадка

Номер сита	Масса остатка на сите m_i , г	Частный остаток на сите a_i , %
10	132	36,7
7	55	15,3
5	67	18,6
3	52	14,4
2	34	9,4
1	15	4,2
Менее 1	5	1,4
Сумма	360	100

фракции 3–5 и 2–3 представлены частицами одного состава (рис. 4, 5); при осмотре фракции 1–2 заметно наличие мелких опилок (рис. 6); остаток, прошедший через сито 1, состоит из мелких волокон (рис. 7). По цвету фракции не отличаются между собой (серо-коричневого цвета).

Теплопроводность осадка определяли по СТБ 1618-2006 "Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме". Сыпучий материал засыпали с избытком в рамку, установленную на нижней плите прибора. Материал разравнивали, а излишек удаляли при помощи линейки. Расположение образца — горизонтальное. Направление теплового потока — сверху вниз. Через слой материала при помощи прибора для измерения теплопровод-

ности создавали стационарный тепловой поток, направленный перпендикулярно к наибольшим граням образца. В ходе испытания измеряли плотность теплового потока, температуру противоположных лицевых граней и толщину образца. В результате испытания было установлено, что коэффициент теплопроводности λ составляет 0,093–0,095 Вт/(м·К) при средней плотности 350 кг/м³ и может быть понижен при ее уменьшении.

Одним из направлений исследования было изучение гранулирования осадка для оценки возможности применения его в виде засыпок или в качестве заполнителя для легких бетонов. Гранулирование материала проводили вручную. Формование гранул затруднялось вследствие высокой влажности исходного осадка и становилось возможным после того, как из материала удаляли часть воды (соответствующая 35 %–40 % от начального водосодержания, равного ~330 %–340 %). В ходе экспериментов было установлено, что процесс гранулирования осадка не может быть аналогом процессу гранулирования глин при производстве керамзитового гравия, так как нет внутренней адгезии частиц, даже если удалена лишняя вода, то есть подобрано требующееся для формования гранул водосодержание.

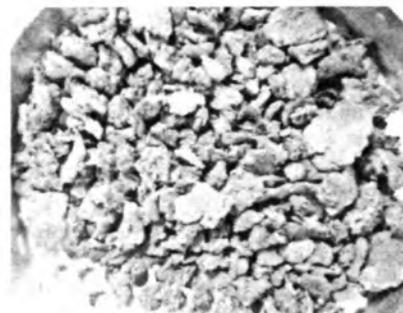


Рис. 1. Осадок фракции более 10 мм

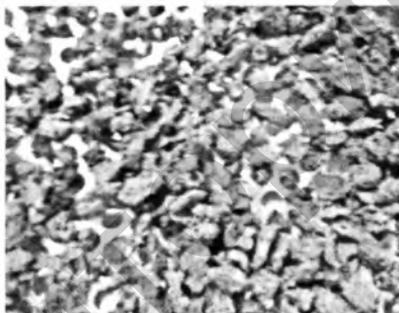


Рис. 2. Осадок фракции 7–10 мм



Рис. 3. Осадок фракции 5–7 мм



Рис. 4. Осадок фракции 3–5 мм

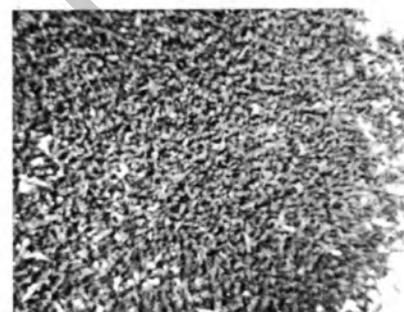


Рис. 5. Осадок фракции 2–3 мм

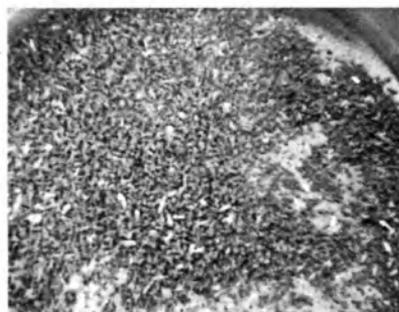


Рис. 6. Осадок фракции 1–2 мм

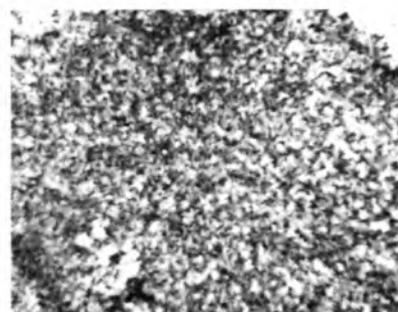


Рис. 7. Волокна осадка, прошедшие через сито с размером ячеек 1 мм

Таблица 7. Влажность гранул осадка

Номер пробы	Масса поддона с гранулами, г		Масса поддона, г	Влажность W , %
	до высушивания	высушенными до постоянной массы		
1	315	205	135	157
2	332	162	102	283
3	255	163	112	180
Среднее	—	—	—	207

20 мин соответственно также происходило их обугливание (рис. 9, 10). Обуглившиеся гранулы становятся хрупкими и теряют связность (прочность). Сохранение внешнего вида, целостности и прочности гранул, достаточной для оперирования ими (пересыпания с высоты 1,5–2,0 м, заполнением при этом емкостей из металла), обеспечивается не спеканием гранул, а их сушкой при $T_c \sim (100–150)^\circ\text{C}$.

Одним из направлений исследований была оценка возможности формования плитных изделий из материала осадка наподобие других теплоизоляционных или отделочных материалов. Вначале оценивали возможность опрессовки влажного исходного осадка, для чего его помещали между плоскими пластинами и нагружали под прессом (усилие 5,3 кН, давление 830 кПа) до истечения воды из массы, затем "плиту" сушили при $T_c = 100^\circ\text{C}$ в течение 11–12 ч. Полученные образцы оценивали по внешнему виду (однородность, качество поверхности, пористость структуры), прочности при механических воздействиях (изгиб, твердость при царапании металлом).

Последующие эксперименты выполняли, опрессовывая исходный материал с воздействием повышенной температуры. В этом случае влажный материал после удаления лишней влаги под прессом сушили между двумя нагретыми пластинами при $T_c = (180–200)^\circ\text{C}$ в течение 45–60 мин и оценивали полученные образцы по приведенным ранее критериям.

В обоих случаях плитные образцы из осадка характеризовались недостаточной для оперирования с ними прочностью, например, для съема, складирования, ук-

ладки в рабочее положение при устройстве теплоизоляции.

На этом основании можно сделать вывод, что прямое использование осадка для получения плитных изделий невозможно. Они могут быть получены, если твердообразный материал осадка предварительно будет смешан со связующим (например, синтетическими смолами), как это имеет место при производстве стекловолоконных плит (мягких и жестких). Однако следует

учитывать, что в отличие от минеральных (стекляных) волокон, материал осадка органического происхождения, то есть подвержен биологическим воздействиям и, как установлено, не термостоек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Анализ результатов выполненных исследований и имеющийся опыт в использовании осадка в строительном производстве показывают, что прямое использование осадка возможно только при приготовлении масс для получения аглопорита, керамзита и производстве глиняного кирпича, в которых осадок применяется в качестве выгорающих при термической обработке добавок.
- 2 Вторым направлением его использования может стать получение распушенного материала со средней плотностью менее 150 кг/м^3 в качестве теплоизолирующего материала. При этом его следует упаковывать во влагонепроницаемый материал (по примеру производимого в г. Минске на импортируемом сырье мешкоперлита), а наиболее целесообразно — с вакуумированием упаковки, что могло бы обеспечить такому материалу понижение теплопроводности примерно до $0,05–0,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.
- 3 Третьим направлением использования осадка может быть изготовление плитных изделий после предварительного смешивания со связующим материалом, например с синтетической смолой, как это имеет место при производстве стекловолоконных плит.

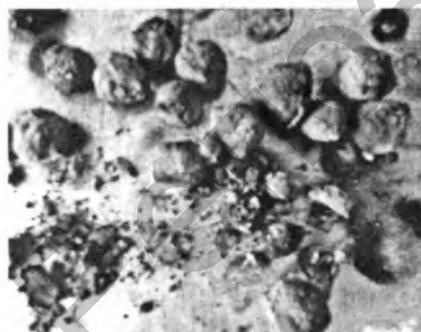


Рис. 8. Вид гранул осадка после выдержки при $T = 300^\circ\text{C}$



Рис. 9. Вид гранул осадка после выдержки при $T = 280^\circ\text{C}$



Рис. 10. Вид гранул осадка после выдержки при $T = 250^\circ\text{C}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евилевич, А. З. Утилизация осадков сточных вод / А. З. Евилевич, М. А. Евилевич. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1988. — 248 с.
2. Михневич, Э. И. Состав и свойства осадков сточных вод предприятий бумажной промышленности и выбор пути их утилизации / Э. И. Михневич, В. Н. Яромский // Матер. 1 форума союзного государства вузов инж.-технол. профиля 22–23 мая 2012 г., г. Минск: "Чистая вода: возвращение к человеку". — Минск: БНТУ, 2012. — С. 74–80.

Статья поступила в редакцию 07.12.2012.