

## ОБРАБОТКА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

УДК 628.336.71:628.477.8

### Термическая обработка – перспективное направление утилизации осадков сточных вод

Э. МОРАН<sup>1</sup>, А. В. ПЛЕХАНОВ<sup>2</sup>, Ф. И. ЛОБАНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Эрик Моран, руководитель проектных работ, FMI Process S.A.S  
22 rue du Garat, 42152 L'Horne, France, tel.: +33 6-18-80-37-65, e-mail: emaurin@fmi-process.com

<sup>2</sup> Плеханов Александр Валентинович, директор по проектам, ООО «КНТП»  
117403, Россия, Москва, Востряковский проезд, 10Б, стр. 2, тел.: (499) 372-14-12, e-mail: a.plekhanov@kntp-pro.ru

<sup>3</sup> Лобанов Федор Иванович, профессор, доктор химических наук, президент ООО «КНТП»  
117403, Россия, Москва, Востряковский проезд, 10Б, стр. 2, тел.: (499) 372-14-12, e-mail: f.lobanov@kntp-pro.ru

Присутствие токсичных элементов в осадках сточных вод очистных сооружений канализации не позволяет в полной мере использовать биошлам с высоким содержанием азота, фосфора и калия в качестве эффективных органических или комплексных органоминеральных удобрений и почвогрунтов для восстановления нарушенных земель. В связи с этим стоит задача разработки новых технологий обработки осадка сточных вод для снижения негативного воздействия на окружающую среду с применением различных методов пассивации подвижных форм токсичных металлов. Приведены данные о металлических печах из высокотехнологичного сплава с псевдооживленным слоем для термической обработки осадков сточных вод в сравнении с печами из огнеупорного кирпича. Компактные печи в модульном ис-

полнении предназначены для сжигания от 2000 до 6000 тонн осадка в год на небольших станциях очистки сточных вод. Печи для средних и больших очистных станций рассчитаны на объем сжигаемого осадка от 6000 до 80 000 тонн в год. Использование минеральных присадок и различных неорганических сорбентов обеспечивает эффективную очистку отходящих газов. Показано, что металлические печи запатентованной конструкции имеют преимущества перед традиционными печами из огнеупорного кирпича, особенно при использовании на небольших станциях аэрации.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, очистные сооружения, сжигание биошлама, металлические печи с псевдооживленным слоем, экологическая безопасность.

Различные технологические варианты использования осадков сточных вод в первую очередь определяются их экологической безопасностью, которая в основном связана с загрязнением подвижными формами токсичных металлов и радионуклидов. Эта ситуация возникла из-за принятия в свое время решения об объединении производственных и коммунальных стоков, которые поступают на очистные сооружения. В результате на биомассе осадка происходит адсорбционное накопление не только значительного количества микроэлементов (железо, цинк, кобальт, хром, молибден), но и токсикантов (ртуть, кадмий, мышьяк), что приводит к загрязнению объектов окружающей среды.

К сожалению, присутствие токсичных элементов не позволяет в полной мере использовать на практике осадки биошлама с высоким содержанием азота, фосфора и калия в качестве эффективных органических или комплексных органоминеральных удобрений и почвогрунтов для восстановления нарушенных земель.

В связи с этим стоит задача разработки новых технологий обработки осадка сточных вод с применением различных методов пассивации подвижных форм токсичных металлов для снижения негативного воздействия на окружающую среду. В настоящее время используются следующие способы обработки осадка сточных вод:

Компания	Метод термической утилизации	Коммерческое обозначение	Страна-производитель	Производительность при влажности 25%, тыс. т/год
<i>Outotec</i>	Моносжигание, печь с кипящим слоем	SPI 30-50-100	Финляндия	17–100
<i>Veolia</i>		Pyrofluid	Франция	15–175
<i>Degrémont</i>		Thermylis	США	15–160
<i>Raschka</i>		Raschka FBI	Швейцария	4,3–160
<i>Tsukishima Kikai</i>	Печь с кипящим слоем	TSK FBI	Япония	110
<i>FMI Process</i>	Моносжигание, печь с кипящим слоем	Sun Sand	Франция	2–80

раствором известкового молока с последующим механическим обезвоживанием (образование гидроксидов металлов);

негашеной известью после механического обезвоживания (образование оксидов металлов);

химическими реагентами со статическим обезвоживанием в геоконтейнерах;

сжигание обезвоженного осадка в кипящем слое с получением золы с ее дальнейшей обработкой стеклованием (образование оксидов металлов, силикатов).

Таким образом, в основном перевод подвижных форм токсичных металлов в инертную форму осуществляется сжиганием осадка, переводом в инертные оксидные соединения или в гидроокиси металлов. Однако в этом случае трудно добиться полного связывания свободных ионов металлов за счет кинетических и термодинамических факторов. Наличие различных комплексообразователей ухудшает осаждение гидроокиси и делает невозможным достижение предельно

допустимых концентраций. Поскольку основная масса антропогенных загрязнителей скапливается на очистных сооружениях в первичном отстойнике, целесообразно использовать термическую утилизацию этого вида осадка.

Термическая утилизация биошлама осуществляется в печах с кипящим слоем. Основные производители печей с псевдоожиженным слоем представлены в таблице.

В настоящее время получили распространение печи из футерованных огнеупорных материалов, а также металлические печи по технологии FMI, которые представляют оригинальное направление в термической утилизации биошлама, образующегося на средних и небольших очистных сооружениях канализации.

Поскольку технология утилизации осадка с помощью футерованных печей с кипящим слоем применяется уже многие годы, в том числе и в России, рассмотрим некоторые особенности металлических печей FMI (рис. 1).

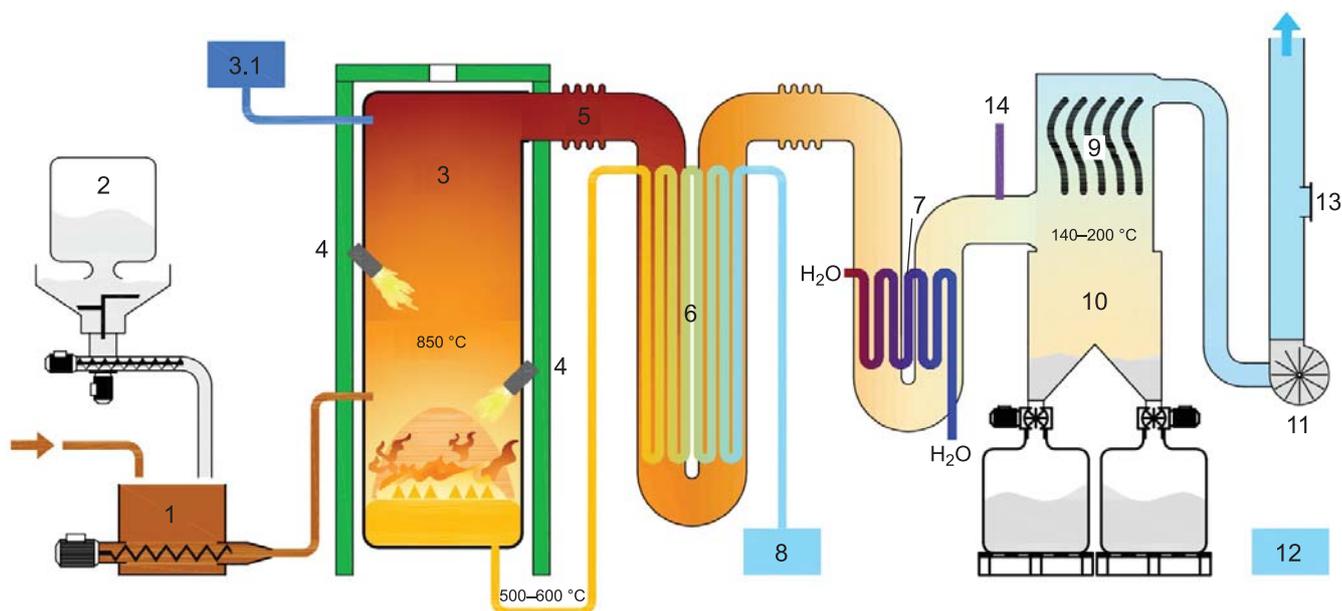


Рис. 1. Технологическая линия сжигания биошлама с использованием печей FMI

1 – загрузка осадков; 2 – накопитель и дозированная подача реагентов; 3 – печь с псевдоожиженным слоем; 3.1 – регулирование температуры; 4 – горелки; 5 – дымовой канал; 6 – рекуперация энергии типа «воздух – воздух»; 7 – теплообменник типа «вода – воздух»; 8 – газодувка; 9 – сухой фильтр; 10 – накопительный силос золы; 11 – центробежный вентилятор; 12 – воздушный компрессор; 13 – анализ выбросов; 14 – реагенты (опционально)

Принцип работы металлической печи FMI с псевдооживленным слоем состоит в следующем. Воздух, поступающий из окружающей среды, подается на нагнетатель давления. Затем он проходит в газовый теплообменник, где его нагревают перед введением в нижнюю часть печи для создания псевдооживленного слоя. Как только шлак вводят в печь, он падает на слой псевдооживленного песка с температурой около 750 °С и сгорает. Это позволяет превращать шлак в золу, углерод и летучие материалы. Последующее горение происходит в верхней части печи, что само по себе обеспечивает окисление углерода, и именно там осуществляется правильная комбинация молекул.

На выходе из печи газы попадают в воздушный теплообменник, где они отдают часть своей энергии (используемой для нагрева псевдооживленного слоя) перед входом в испаритель водяного теплообменника. Это позволяет восстанавливать тепло, которое при подключении к районной сети может быть использовано для обогрева зданий или приусадебных хозяйств. С другой стороны, снижение температуры паров необходимо для поддержания рабочего диапазона температур рукавного фильтра, а также для повышения эффективности реагентов.

Обработка отходящих газов осуществляется введением сухих реагентов (минералов) для достижения нормативов на выброс в атмосферу. Это касается загрязнителей воздуха, образующихся при эксплуатации печи. Доведение их до минимальной концентрации при температуре 850 °С происходит в течение нескольких секунд.

Технология FMI с псевдооживленным слоем имеет ряд преимуществ в отличие от стандартной технологии сжигания в футерованных печах: уменьшение содержания опасных веществ в самом реакторе с псевдооживленным слоем, высокий термический КПД, мобильность при вводе в эксплуатацию. При этом следует подчеркнуть различия между металлической печью FMI и огнеупорной кирпичной. Это относительно низкие капитальные и эксплуатационные затраты благодаря простой конструкции, более низкая инвестиционная стоимость, самое дешевое оборудование по сравнению с другими печами с аналогичной мощностью и качеством выпускаемой продукции, учитывая затраты на очистные сооружения и инфраструктуру безопасности. Низкие эксплуатационные расходы обусловлены тем, что контроль установки осуществляется в режиме 24/7 (24 часа в сутки 7 дней в неделю) дистанционно.

Для поддержания стабильной работы и обеспечения высокой эффективности процесса сжигания параметры (температура, давление воздуха, скорость потока) постоянно измеряются, данные поступают к диспетчеру.

Используемые в технологии FMI печи могут быть остановлены (даже на короткое время) и быстро перезапущены. Испытания всех типов печей при пусковых и остановочных ограничениях связаны с тепловыми изменениями. Во время фаз нагрева в конструкции должно быть предусмотрено тепловое расширение, чтобы не создавать угрозу структурной целостности печей.

Печи по технологии FMI спроектированы таким образом, чтобы ограничить проблемы из-за высоких тепловых колебаний. В отличие от печей из огнеупорного кирпича их конструкция не является «жесткой», поскольку имеет две подвижные части, соединенные между собой шарниром.

Высокая и равномерная скорость теплопередачи, более короткие технологические циклы и повышенная производительность, значительное сокращение времени цикла диффузионных процессов позволяют малым печам перерабатывать непропорционально высокий тоннаж биошлама.

Для длительной эксплуатации печей по технологии FMI требуется ремонт в течение 2–3 недель с периодичностью один раз в 5–7 лет. Ремонт печи выполняется просто, с заменой верхней или нижней частей (даже если они были сильно повреждены). Можно просто сделать «заплатку» на поврежденный участок стальной печи.

Деформация и естественный износ печи незначительны, что достигается за счет термической регулировки, контроля скорости псевдооживления, который ограничивает истирание печи за счет образования воздушной подушки с учетом теплового расширения.

Печи из огнеупорного кирпича требуют более длительного времени для остановки и запуска, что играет существенную роль при эксплуатации. Кроме того, ремонт огнеупорной футеровки часто предполагает полную замену всех кирпичей в печи, что связано с длительным и сложным техническим обслуживанием и большими затратами. Имеющийся опыт работы показывает, что печи такого типа потребляют гораздо больше энергии в течение резервных фаз, чем печи по технологии FMI.

Огнеупорные печи очень трудно остановить, поэтому их часто, например в выходные дни, поддерживают в теплом режиме работы, но в периоды ожидания напрасно расходуется большое количество газа. Печи по технологии FMI в

случае необходимости могут быть остановлены в любой момент, и они намного экономичнее во время фаз ожидания.

В процессе термической утилизации по технологии FMI перед подачей осадка в печь вводится кальциевый реагент. Это дает возможность обрабатывать кислые газы непосредственно в печи, где они образуются. Обработка кислых газов в месте их образования имеет реальное преимущество в защите теплообменников от коррозии на протяжении всего процесса работы печи. Если кислый газ не обрабатывается непосредственно в печи, то при прохождении через теплообменники он вызывает их сильную коррозию. Опыт показывает, что на выходе печи из огнеупорного кирпича наблюдается более быстрая коррозия теплообменников, чем на выходе из печи по технологии FMI, поскольку введение кальциевого реагента в печь с огнеупорным кирпичом невозможно, так как реагент может вызвать серьезное повреждение футеровки.

Экологические преимущества достигаются за счет термической утилизации тепла при сжигании осадка с содержанием сухого вещества  $\geq 25\%$ . При этом часть выделяемой энергии расходуется для нагрева воздуха для горения от 20 до 550 °С, а также на выходе из дымовой трубы для ослабления парового шлейфа, а также для вторичного отопления зданий.

Технологический процесс FMI включает: один дымовой воздушный теплообменник, который забирает энергию из паров и повторно инжектирует ее в печь, что позволяет экономить газ или топливо, не допуская охлаждения печи; один испаритель для водяного теплообменника, который обеспечивает простое подключение к тепловой районной станции, или для других процессов.

В настоящее время глобальной проблемой в мире является загрязнение атмосферы. Наиболее вредными и токсичными газами наряду с диоксидом серы ( $SO_2$ ) являются оксиды азота ( $NO_x$ ). Они относятся к газообразным компонентам, наиболее загрязняющим атмосферный воздух. Среди нескольких оксидов азота ( $N_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $NO_2$ ,  $N_2O_4$ ,  $N_2O_5$ ) наиболее распространены в атмосферном воздухе оксид азота ( $NO$ ) и диоксид азота ( $NO_2$ ), в которых  $NO$  составляет более 90%  $NO_x$ . Повторное использование дымовых газов и контроль содержания кислорода позволяют сократить выбросы  $NO_x$  (патент SNRC NOXYNIX).

Общий вид модульного завода по сжиганию биошлама комплекса TERMIPAK® 500 (сжигание осадка от 2000 до 6000 тонн в год) приве-



Рис. 2. Комплекс TERMIPAK® 500

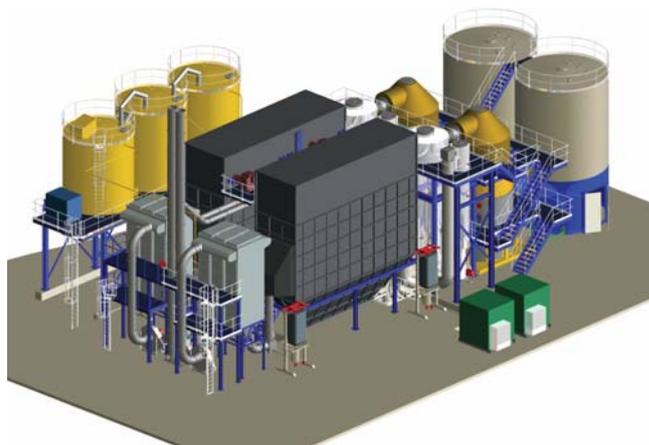


Рис. 3. Комплекс SUN SAND

ден на рис. 2, комплекса SUN SAND (сжигание осадка от 6000 до 80 000 тонн в год) — на рис. 3.

### Выводы

Технология утилизации осадков сточных вод очистных сооружений канализации с использованием печей FMI имеет следующие преимущества:

- отсутствие предварительной сушки осадка непосредственно на месте его складирования и хранения;

- низкий уровень воздушных выбросов в атмосферу;

- возможность размещения печей вблизи от жилых районов, так как нет загрязнения окружающей среды;

- автоматический контроль и управление всеми технологическими процессами;

- возможная остановка и быстрый последующий запуск (концепция «stop & start»);

- простота монтажа;

- низкие инвестиционные и эксплуатационные расходы;

- возможность установки компактных печей на небольших очистных станциях (объем сжигаемого осадка от 2000 до 6000 тонн в год).

---

**WASTEWATER SLUDGE TREATMENT**

---

**Thermal treatment – a promising trend in wastewater sludge utilization****E. MAURIN<sup>1</sup>, A. V. PLEKHANOV<sup>2</sup>, F. I. LOBANOV<sup>3</sup>**<sup>1</sup> *Eric Maurin, Project Head Manager, FMI Process S.A.S**22 rue du Garat, 42152 L'Horme, France, tel.: +33 6-18-80-37-65, e-mail: emaurin@fmi-process.com*<sup>2</sup> *Plekhanov Aleksandr Valentinovich, Project Director, «KNTP», LLC**Build. 2, 10B, Vostriakovskii Passway, 117403, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (499) 372-14-12,**e-mail: a.plekhanov@kntp-pro.ru*<sup>3</sup> *Lobanov Fedor Ivanovich, Professor, Doctor of Chemistry, President, «KNTP», LLC**Build. 2, 10B, Vostriakovskii Passway, 117403, Moscow, Russian Federation, tel.: +7 (499) 372-14-12, e-mail: f.lobanov@kntp-pro.ru*

The presence of toxic elements in wastewater sludge generated at the wastewater treatment facilities precludes from using to the full extent the biosludge rich in nitrogen, phosphorus and potassium as efficient organic or combined organomineral fertilizers and potting soil for reclamation of disturbed lands. In this context the task of developing advanced technologies of wastewater sludge treatment in order to mitigate the negative impact on the environment with the use of different passivation methods of active forms of toxic metals has been set. The information on metal furnaces made of hi-tech alloy with fluidized bed for thermal treatment of wastewater sludge is presented in comparison with furnaces made of chamotte brick. Compact modular furnaces have been designed for incinerating 2000–6000 tons of sludge annually at small-scale wastewater treatment facilities. Furnaces for medium and large-scale wastewater treatment facilities have been designed for incinerating from 6000 to 80000 tons of sludge annually. The use of mineral additives and different inorganic sorbents ensures efficient treatment of waste gases. It is shown that metal furnaces with patented design have advantages compared to the traditional furnaces made of chamotte brick particularly when used at small-scale wastewater biological treatment facilities.

**Key words:** wastewater sludge, wastewater treatment facilities, biosludge incineration, metal furnace with fluidized bed, ecological safety.