

Д.В. УНГУРЯНУ, кандидат технических наук
Д. СИРЕЦЯНУ
Технический Университет Молдовы

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАБОТКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Наводиться огляд сучасних способів обробки і шляхів утилізації осадів стічних вод включаючи їх інтегрування з іншими органічними відходами антропогенного, агропромислового походження в світлі законодавства Європейського Співтовариства.

Ключові слова: осади стічних вод; анаеробне зброджування; автотермічна аеробна стабілізація; використання осадів; інтегрована обробка органічних відходів.

Приводится обзор современных способов обработки и путей утилизации осадков сточных вод включая их интегрирование с другими органическими отходами антропогенного, агропромышленного происхождения в свете законодательства Европейского Сообщества.

Ключевые слова: осадки сточных вод; анаэробное сбраживание; автотермическая аэробная стабилизация; использование осадков; интегрированная обработка органических отходов.

An overview of modern treatment methods and ways of utilization of sewage sludge including their integration with other organic wastes of anthropogenic, agro-industrial origin in the light of the legislation of the European Community is given.

Key words: sewage sludge; anaerobic digestion; autothermal aerobic stabilization; sludge utilization; organic waste integrated treatment.

Введение

Непрерывное увеличение объёма осадков сточных вод, связанное с демографическим ростом и урбанизацией населения создаёт все больше проблем муниципалитетам.

Обработка осадков с целью снижения их объёма и преобразования в утилизируемый продукт стало необходимостью. Для такой обработки осадков сточных вод существуют различные технические решения, которые применяют для их уплотнения и обезвоживания, анаэробного сбраживания и/или аэробной стабилизации органической части осадков с выделением биогаза в виде «зелёной» энергии и одновременным предотвращением

неприятных запахов, термической и/или солнечной сушки, уничтожения путём сжигания.

Для систем канализации первоначальной задачей является очистка сточных вод с тем, чтобы вернуть природе чистую воду, без загрязнения, но в тоже время сточные воды могут быть источником «зелёной» энергии и других вторичных продуктов, содержащих реутилизируемые вещества, имеющих как экономическую, так и экологическую ценность.

В качестве такого источника может служить, например, преобразование органических веществ осадков в сельскохозяйственные удобрения, содержащих агрономический комплекс N, P, K.

Совсем недавно фирма Веолия осуществила впервые в мире преобразование осадков сточных вод в биопластик, который в отличие от синтетического пластика является биоразлагаемым и имеет большое будущее.

Эти два характерных примера относятся к утилизации твёрдой части осадков сточных вод. Другим утилизируемым продуктом анаэробного сбраживания осадков сточных вод является биогаз, который является источником возобновляемой «зелёной» энергии, с помощью которого посредством когенерации можно получить как тепловую, так и электрическую энергию, восполняя почти на 100% затраты энергии для энергоснабжения процессов очистки сточных вод и обработки осадков, а также для перекачки. Получение энергии тепла сточных вод и осадков может быть осуществлено и с помощью тепловых насосов.

Утилизация осадков сточных вод в сельском хозяйстве в качестве удобрений

Использование осадков сточных вод, содержащих органические вещества и биогенные элементы для растений (N, P, K), может быть двумя путями – ирригацией с/х земель в жидком состоянии и путем компостирования обезвоженных осадков, используя для это добавки углеродсодержащих отходов более низкой влажности (типа растительных отходов, соломы, ТБО и др.). Ирригация жидкими осадками требует тщательного наблюдения за процессом, за качеством осадка, в особенности в санитарно – гигиеническом отношении, и возможно только в теплое время года, при помощи разбрасывающей техники. Компост при использовании его улучшает структуру почв и обеспечивает их удобрение. Компостирование осадков сточных вод – это природный биологический процесс разложения органических веществ под действием аэробных бактерий (в присутствии кислорода) в результате которого получается продукт под названием компост.

Вписываясь в концепцию устойчивого развития, компостирование является заменителем химических удобрений, которые выделяют газы с парниковым эффектом, и содействует рециклу других отходов.

Преобразование осадков сточных вод в компост выполняется в несколько этапов:

а) вначале осадки – источник азота и фосфора – смешиваются с другими органическими отходами – наполнителями и источниками углерода;

б) полученная смесь помещается в бурты/ёмкости для ферментирования, оборудованные системами принудительной аэрацией; это активная фаза разложения органического вещества сопровождаемая развитием микроорганизмов которые поднимают температуру до величин ведущих к гигиенизации осадка (~60° С) путем уничтожения патогенных фекальных бактерий. Аэрирование содействует развитию грибов и бактерий, которые разрушают органические вещества, продолжительность этой фазы составляет 2 – 3 недели;

в) по окончании активной фазы ферментации компост просеивают для отделения мелких фракций от крупных с тем чтобы получить продукт с гранулометрическим составом от 0 до 25...50 мм. Крупные частицы возвращают в зону смешивания и подвергаются снова процессу ферментации;

г) затем следует этап созревания во время которого разложившаяся масса преобразуется в гуминовые вещества/перегной/гумус под действием микроорганизмов, преимущественно грибов, эта фаза длится от 3 до 4–х недель. Температура спадает и потребление кислорода меньше, по окончании этой фазы компост считается стабильным.

Европейская рамочная директива 2008/98/СЕ от 19 ноября 2008 года касательно отходов поддерживает необходимость защиты окружающей среды и человеческого здоровья путем предотвращения или сокращения вредного влияния производства и управления/менеджмента отходами. Отходы стали считаться источником получения/извлечения вторичного сырья. В статье 6 директивы прямо указывается на перевод статуса отходов в статус продукта. Рециклирование превращает отходы в новое сырье, которое заменяет нетронутое/девственное сырье, что позволяет экономить природные невозполняемые ресурсы и одновременно сократить эмиссии газов с парниковым эффектом.

Компостирование можно совместить с выращиванием дождевых червей – вермикультуры – для получения т. н. биогумуса и протеина.

Утилизация осадков СВ для получения энергии

Анаэробное сбраживание с получением и утилизацией биогаза наиболее широко распространенный способ стабилизации органических осадков, позволяющее предотвратить ферментирование осадков при их складировании, с выделением неприятных запахов. Главным преимуществом анаэробного сбраживания осадков сточных вод – выделение при этом биогаза, который может служить в качестве топлива использованного для собственных нужд очистной станции. Этот процесс может быть совмещен с предварительной автотермической аэробной термофильной стабилизацией,

которая происходит с использованием аэробных микроорганизмов с высвобождением энергии и нагревом до температуры более чем 50°C, что ускоряет фазу гидролиза для последующего анаэробного мезофильного сбраживания. Метаболизм органических веществ осадков приводит таким образом к одновременному уничтожению болезнетворных микроорганизмов – гигиенизации – и получению качественного удобрения в виде дигестата анаэробного сбраживания.

Интерес к этой технологии возрастает, предпринимаются исследования интенсификации процесса получения биогаза и роста его выхода. Одним из таких путей является коферментирование осадков сточных вод совместно с различными органическими отходами, как жидкими, так и твёрдыми. Таковыми могут быть углеводы, белковые вещества (протеины), жироподобные вещества (липиды), целлюлоза, гемицеллюлоза в качестве основных составляющих применяемых субстратов. Таким образом, в качестве ко-субстратов для анаэробного сбраживания, кроме осадков сточных вод, могут служить навоз животных, растительные отходы, агропромышленные органические отходы, пищевые отходы, органические фракции твёрдых бытовых отходов, энергетические культуры типа ивы и др. Такие ко-субстраты могут поддержать также необходимое для анаэробного сбраживания соотношение C/N в пределах от 20/1 до 30/1. Так, различные целлюлозные отходы имеют отношение C/N колеблющееся от 170/1 до 1000/1. Коферментация осадков сточных вод с различными другими субстратами приводит и к увеличению продукции биогаза, по сравнению с одними осадками сточных вод, до 50%, что объясняется синергетическим эффектом.

Особенностью использования ко-субстратов для анаэробного сбраживания (совместно с осадками сточных вод) является необходимость их предварительной подготовки (предобработки) для улучшения сбраживания. К таким процессам относятся механическое измельчение, энзиматическое разложение, силосование, и др. Целью этих методов предобработки является увеличение растворимости комплексных субстратов с тем чтобы ускорить этап гидролиза, который сдерживает процесс их разложения. Таким образом, предобработка улучшает стабилизацию отходов и продукцию биогаза.

Силосование является способом биологической предобработки, который, в частности, сохраняет неизменной природную влажность растительных отходов и энергетических культур, что увеличивает продукцию биогаза. В процессе силосования растворенные углеводы, содержащиеся в биомассе подвержены молочнокислому брожению. Такая реакция приводит к снижению pH и потерям органических веществ, содержащихся в исходном субстрате. Увеличение продукции биогаза при предобработке силосованием объясняется разложением полисахаридов, содержащихся в структуре растений, в более легко разлагаемые промежуточные соединения.

В заключение к этому разделу необходимо отметить, что анаэробное сбраживание осадков сточных вод на мелких и средних очистных станциях, несмотря на привлекательность анаэробной стабилизации с одновременным получением биогаза, не получило распространения из-за малого его количества. В этом смысле для улучшения экономического баланса анаэробного сбраживания считаем целесообразным дополнить осадки сточных вод другими органическими субстратами с более высоким энергетическим потенциалом, особенный упор делая на различные органические отходы, которых в достаточном количестве хватает везде одновременно решая и природоохранные задачи.

Для использования в качестве удобрения и гигиенизации осадки сточных вод могут быть подвержены термической сушке, в результате которого продукт может быть представлен в виде полностью стабилизированных гранул, которые могут быть дополнительно обогащены и удобрительными компонентами, например, хлористым калием.

Сжигание осадков СВ. В тех случаях, когда осадки сточных вод не могут быть использованы в сельском хозяйстве, например, при высоком содержании тяжелых металлов и на больших станциях для резкого сокращения объёма осадков перед их захоронением/складированием, их подвергают сжиганию. При этом органические вещества окисляются при очень высокой температуре (~1450°C). Для моносжигания осадков сточных вод они должны быть обезвожены до содержания сухого вещества порядка 30...45% и для этого применяют специальное оборудование обеспечивающее эффективное перемешивание и окисление. Косжигание заключается в термической утилизации осадков влажностью 75...80% совместно с твердыми бытовыми отходами на мусоросжигательных заводах, что значительно проще и дешевле. Чаще всего тепло от сжигания осадков сточных вод используется для их термической сушки, которая необходима особенно в случаях моносжигания.

Альтернативные решения использования осадков сточных вод. Существуют и другие технические решения использования и удаления/ликвидации осадков сточных вод, которые ещё не получили широкого распространения. К ним относятся:

а) жидкофазное окисление, которое заключается в термической обработке при 200-250°C и давлении 50 бар, избегая этим обезвоживание и сушку осадков;

б) косжигание в производстве цемента, техника которая позволяет ликвидировать обезвоженные или высушенные осадки сточных вод;

в) газификация позволяет превращение при высокой температуре (900...1100°C) энергии, содержащейся в твердом материале, в инертный остаток и теплотворный газ используемый в виде тепла или электроэнергии с высоким энергетическим к.п.д. и с благоприятным природоохранным балансом.

г) пиролиз и термолиз заключается в разложении высушенных осадков сточных вод в отсутствие воздуха ($O_2 < 2\%$) при температуре от 400 до 700°C, которая ведет к выделению горючего газа и образованию твердого материала, называемого коксом;

д) грибковая (мицелиальная) технология заключается в использовании коктейля из определенных дрожжевых мицелиев (плесени) для естественного сокращения объема осадков. Сокращенный материал преобразуется в воду и газы, не вызывая загрязнения;

е) производство биоразлагаемого пластика из осадков сточных вод начало исследоваться в 2010 году. Оказалось, что некоторые бактерии, присутствующие в осадках способны производить полигидроксил-алканат (ПГА)-молекулы биоразлагаемого газа, в условиях отсутствия питания. Один килограмм ХПК может производить 0,15 кг ПГА, но исследователи находятся в поисках улучшения технологии.

Складирование/захоронение осадков сточных вод

Складирование в хранилищах осадков сточных вод, как правило, производится перед их использованием в качестве удобрений, с целью гигиенизации, продолжительностью не менее 6-9 месяцев на открытом воздухе.

Захоронение в специально оборудованных местах предусматривается только для опасных токсических осадков, как правило, после их сжигания. Европейской директивой 1999/31/ ЕС предусмотрено прогрессивное сокращение скопления биоразлагаемых осадков и отходов (свалок).

Выводы и рекомендации

До недавнего времени обработка осадков сточных вод считалась второстепенной проблемой. Известно, однако, что они содержат в них патогенные микроорганизмы, а в совокупности с их предрасположением к загниванию в сыром виде они представляют значительную угрозу для окружающей среды и здоровья человека.

Обязательность обработки осадков сточных вод заключается в том, что они должны быть повторно утилизированы, ликвидированы или использованы и это может быть осуществлено путем уплотнения и/или обезвоживания; анаэробного сбраживания, ведущего к уменьшению их количества, влажности и стабилизации на долгое время; использования в целях получения „зелёной” энергии путем превращения органики в биогаз и утилизации последнего в качестве нетрадиционного топлива; термической сушки и разрушения сжиганием.

Основным процессом в технологическом цикле обработки осадков сточных вод является стабилизация их органической части, в результате которого осадки не загнивают, не выделяют неприятных запахов, а также частично или даже полностью они освобождаются от микроорганизмов.

Представляет интерес сочетание предварительной аэробной автотермической термофильной стабилизации перед анаэробным мезофильным сбраживанием. При этом наступает стерилизация/дезинфекция осадков, рост продукции биогаза и степени стабилизации осадков. Длительность процесса автотермической термофильной стабилизации при такой интегрированной обработке составляет от 12 до 24 часов. К тому же, при такой подготовке длительность мезофильного сбраживания сокращается наполовину благодаря гидролизу, который проходит в так называемых аэротермах, где количество ЛЖК растет в 3,5 раза.

Аэробная стабилизация осадков сточных вод является биологическим методом, который заключается в распаде органической массы осадков в отсутствие другого субстрата для биомассы активного ила.

В закрытых теплоизолированных ёмкостях искусственная аэрация осадков сточных вод приводит к выделению тепла разложения органической массы которая поднимает температуру до 55-80°C. На каждый грамм используемого кислорода в этом автотермическом процессе выделяется 3,5 ккал тепла, которое приравнено около 5 ккал на грамм сухого органического вещества биомассы/осадка.

Основываясь на вышеизложенной информации, была разработана технологическая схема интегрированной обработки осадков сточных вод совместно с другими органическими отходами, такими как органические фракции ТБО, растительные отходы садов, парков и сельскохозяйственных культур, пищевые отходы, энергетические культуры и др. (рис.1). В части касающейся технологического цикла обработки осадков сточных вод очистных сооружений канализаций населенных пунктов предлагается первичная стабилизация органической части с применением сооружений кратковременной автотермической аэробной стабилизации с последующим их анаэробным сбраживанием в биологических ферментерах типа метантенков совместно с посторонним для очистных станций сырьем, как-то: растительные отходы (опавшая листва, энергетические аквакультуры), органическая фракция ТБО населения, органические твердые и жидкие отходы агропромышленного производства (бойни, птицефабрики, животноводческие фермы и т.п.). Указанное сырье должно быть предварительно подвержено измельчению, гидролизу, силосованию. Ферментативная обработка такой смеси имеет целью получение повышенной продукции биогаза с целью его утилизации в когенерационных установках, а в последующем и в тригенерационных.

Сброженную массу (дигестат) предлагается переработать в двух направлениях:

а) для дальнейшей утилизации в качестве органоминерального удобрения в сельском хозяйстве, для чего она она может обезвожена и подвергнута компостированию; возможно использование вермикультуры с

получением биогаза и протеинов, что поднимает ценность вторичного продукта;

б) для утилизации в качестве топлива после предварительной подсушки, ускоренного пиролиза и прессования.

Смысл предложенной концепции интегрированной обработки осадков сточных вод заключается в трансформировании очистных сооружений канализаций в независимые предприятия в энергетическом и экономическом отношении за счет утилизации биогаза и вторичных продуктов в виде удобрений, с тенденцией к безотходному производству.

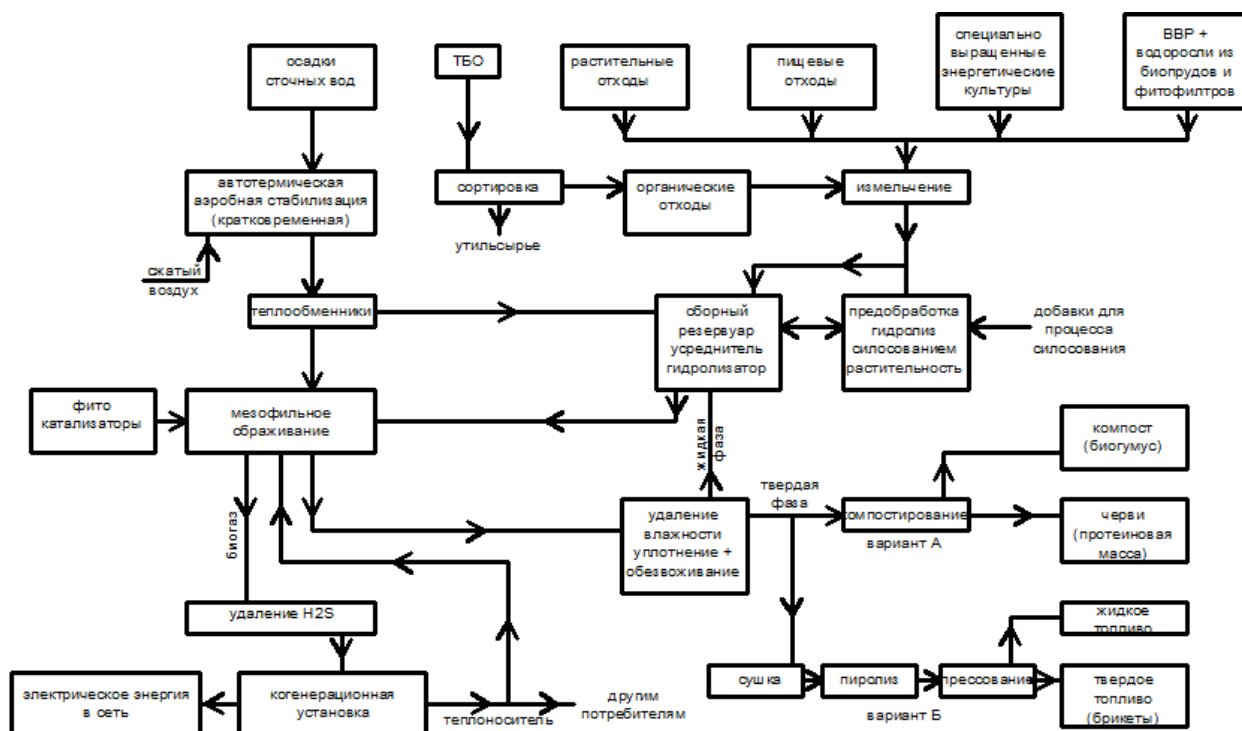


Рис.1. Принципиальная технологическая схема интегрированной обработки осадков сточных вод совместно с другими органическими отходами

Список литературы

1. *Alrefai R., Bengonius K.Y. and Stokes J. (2017). Integration approach of anaerobic digestion and fermentation process towards producing biogas and bioethanol with zero wastes. Technical J. Fundam. Renewable Energy, 7:243, DOI: 10.4172/2090-454.1.1000243*
2. *AMORCE.(2012). Boues de station d'épuration: Technique de traitement, valorization et elimination, Serie Technique DT51, 36 p.*
3. *AMORCE.(2012). Gestion des boues de stations d'épuration: Co-traitement avec les dechets menagers, Serie Technique DT52, 41 p.*
4. *Beline F. et al. (2013) La co-digestion anaerobie des boues d'épuration et de dechets organiques d'origine periurbaine. IRSTEA, Sciences Eaux & Territoires, 3, nr.12:54-57*

5. *Cater M., Zorec M., Marinsek Logar R.* (2014). Methods for improving anaerobic lignocellulosic substrates degradation for enhanced biogas production . Springer Science Reviews, 2: 51-61, DOI: 10.1007/s 40362.014-019.x
6. *Cioabla A.E., Ionel I., Trif-Tordai G.* (2011). Experimental approach for biogas production from biowaste. Internat. J. of Energy and Environment, 5, nr.3: 402-409
7. *Covaliov V., Ungureanu D., Covaliova O., Ionet I.* (2014) Degradarea fermentativa a biomasei celulozice pentru producerea biogazului: 1. Metode de preprocesare. Studia Universitatis Moldaviae, Seria "Stiinte reale si ale naturii", 71, nr.1: 130-134
8. *Dominguez J., Gomez-Brandon M.* (2012). Vermicomposting: Composting with Eartworms to recycle organic wastes. Management of organic wastes, InTech:29
9. *Esposito G. et all.* (2012). Anaerobic co-digestion of organic wastes. Rev. Environ. Sci. Biotechnol., DOI: 10.1007/s 11157-012-9277-8
10. *Gavorki M. et all.* (2017). Enhasing biogas plant production using pig manure and corn silage by adding wheat straw processed with liquid hot water and steam explosion. Biotechnol. Biofuels, 10:259 DOI: 10.1186/s 13068-017-0922-x
11. *Zupancic G.D., Grilc V.* (2012). Anaerobic treatment and biogas production from organic waste. Management of organic waste, InTech, Dr. Sunil Kumar (Ed.)

Стаття надійшла до редакції 8.12.17