

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГО- ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

**В. КОВАЛЕВ¹,
Д. УНГУРЯНУ²,
О. КОВАЛЕВА³,
Г. ПОЛЕЩУК⁴**

¹Институт исследований и инноваций Молдавского государственного университета

²Технический университет Молдовы

³Институт химии АНМ

⁴Компания «B.T.EST&Co», г. Кишинев, Общественная Ассоциация «ПРОЕКТ MOLDOVA VERDE»

Экологические проблемы являются жизненно важными для человечества. Практически каждый ощущает влияние загрязнения окружающей среды. Не в последнюю очередь это касается сбросов плохо очищенных сточных вод, твердых отходов, накапливающихся мусорных отходов и связанных с ними нестерпимыми запахами в воздушных выбросах от них. Нам памятли такие проблемы на Кишиневских очистных сооружениях из-за несовершенства устаревшей технологии, которые, однако, в настоящее время

начали реконструировать. Можно отметить хороший пример – построенная в хозяйстве села Фырлэдень масштабная система биохимической анаэробной переработки органических отходов на основе биогазовой технологии и получения альтернативного источника энергии за счет утилизации биогаза для выработки электрической и тепловой энергии (руководитель – Унгуряну Тудор), хотя и она не лишена недостатков, связанных со сбросами недостаточно очищенных сточных вод.



Фото 1. Общий вид биогазовых реакторов в хозяйстве Фырлэдень, Хынчештский район

Имеется некоторый опыт работы биогазовых технологий на Дрокиевском сахарном заводе, внедренных при инвестировании компании Sudzucker (Германия). Данная система работает недостаточно эффективно из-за недоработок технологии (низкое содержание метана в составе биогаза, отсутствие системы доочистки воды, а качество образующихся при этом осадков не позволяет их эффективно утилизировать в качестве удобрений, и они сливаются в почву, попадая в Днестр). Хорошо выполненная биогазовая станция в с. Колоница, которая строилась с расчетом на имеющуюся в прежние годы животноводческой ферме, которая, однако, необдуманно была приватизирована и ликвидирована. В настоящее время она сталкивается с трудностями, связанными с поставками биомассы. И совсем неадекватный случай с построенной и хорошо функционирующей биогазовой станцией на Вадул-луй-Водской птицефабрике, которая позволяла генерировать электрическую и тепловую энергию, однако безграмотное и недалекое руководство фабрики ликвидировало ее.

В мире биогазовых станций – крупных и малых, исчисляются сотнями тысяч, которые вносят не только существенный вклад в энергетический баланс в своих странах, но и предотвращают вредные выбросы в окружающую среду.

В настоящее время на базе бывшего завода «Алиментармаш» начала функционировать новая

производственная компания «B.T.EST&Co» со специализацией по созданию нового промышленного оборудования, биохимических технологий и экологически чистых производств, на основе которой в Молдове развивается новая отрасль производства. В частности, там в настоящее время разворачиваются работы по модернизации технологии очистных сооружений и утилизации твердых отходов и созданию экологически чистой зоны в Гагаузии. Создается технологическая линия для биохимического производства кормовых концентратов.

Вновь созданная в Молдове Общественная ассоциация «Moldova Verde» (Зеленая Молдова) призвана содействовать продвижению передовых научно-технических решений в охране окружающей среды на базе имеющихся в нашей республике разработок и созданию новых с учетом международного опыта, а также проводить мониторинг для практического продвижения новых прогрессивных технологий.

Очистные сооружения – достаточно сложный комплекс оборудования, и основаны на принципах науко- и капиталоемких технологий, которые не всегда можно упрощать. Их строительство, как правило, требует значительных финансовых затрат на проектно-конструкторские, строительные и эксплуатационные расходы для обеспечения энергоэффективности технологий с учетом высоких требований к охране окружающей среды.

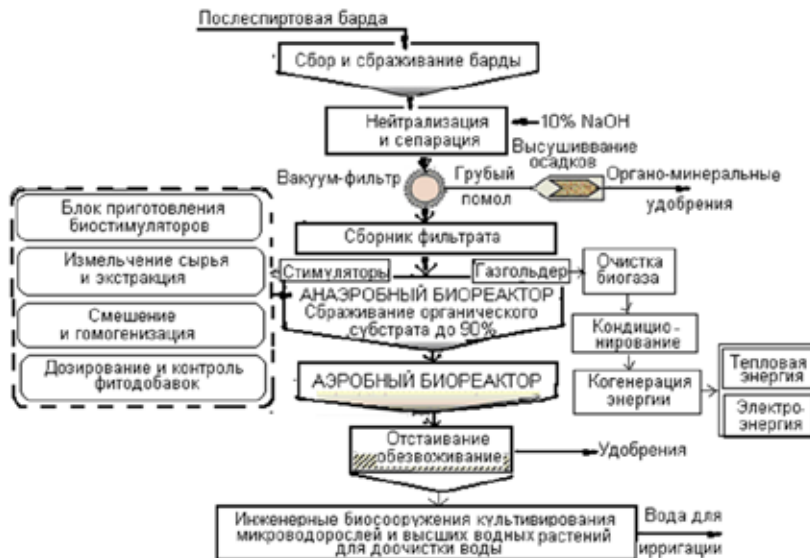


Рис. 1. Технологическая пооперационная схема очистки сточных вод спиртоперегонных производств

Известны и на практике широко применяются различные схемы очистки сточных вод, включающие многоступенчатые анаэробно-аэробные способы обработки стоков (рис.1). Однако все они требуют повышенных энергетических затрат. Это связано с тем, что анаэробный процесс эффективно реализуется при температурах не ниже 33-35°C, в то время как аэробный процесс наиболее эффективно протекает при температурах 20-25°C, является экзотермическим и протекает с выделением тепловой энергии.

В связи с этим, нами предложена более совершенная схема глубокой энергоэффективной биохимической очистки сточных вод (рис.2), вклю-

чающая анаэробный метаногенный и аэробный процессы, доочистку воды от нутриентов микроводорослями и осветление жидкости путем промежуточного отстаивания. При этом тепловая энергия, выделяющаяся в аэробном процессе, являющимся экзотермическим, утилизируется в анаэробном процессе с помощью теплового насоса, а отходящая вода от теплообменника анаэробной стадии используется для поддержания оптимальной температуры при культивировании микроводорослей. Часть воды после теплового насоса используется для охлаждения сточной воды после анаэробного процесса в отстойнике и поддержания оптимальной температуры в аэробном процессе.

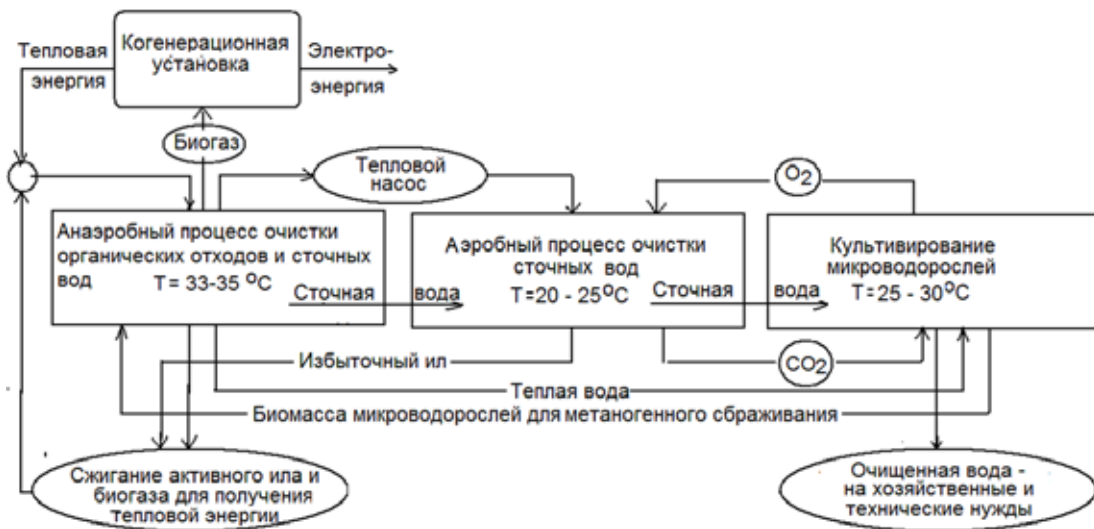


Рис. 2. Схема энергоэффективного сбалансированного теплотребления и теплоотведения от многофункциональных систем очистки сточных вод и органических отходов, и снижения выбросов парниковых газов

При этом кислород (O₂), выделяемый в процессе жизнедеятельности микроводорослей, используется в аэробном процессе, а CO₂ от аэробного процесса используется для выращивания микроводорослей, осадок и метан от анаэробной стадии очистки направляется на обезвоживание, сушку и получение добавочной энергии для поддержки необходимых температурных параметров процесса очистки воды и реализации комплексного процесса очистки воды.

Таким образом, реализация данного предложения обеспечивает глубокую очистку сточных вод до требований сброса в открытые водоемы благодаря комбинированию процессов последовательной трехступенчатой обработки воды. В анаэробном процессе обеспечивается первичная обработка высококонцентрированной части (бытовых) сточных вод, что способствует снижению органической нагрузки в осветленной части сточной воды в 5-10 раз, стабилизирует ра-

боту аэробного процесса и снижает необходимое количество кислорода для окисления оставшихся органических примесей. Вторичное отстаивание позволяет удалить избыточное количество активного ила от аэробного процесса и направить его для переработки в аэробном процессе. Осветленная жидкость аэробного процесса проходит доочистку культивируемыми в ней микроводорослями. При этом снижается ХПК и БПК воды, а ускоренный рост микроводорослей типа *Chlorella* обеспечивает использование CO_2 , выделяемого в аэробном процессе. Выращиваемые микроводоросли из очищенной воды направляются для переработки в анаэробный процесс или на корм животным, а очищенная вода после дополнительного обеззараживания может быть сброшена в природные водоемы.

Баланс тепловой энергии, необходимой для реализации процесса глубокой биологической очистки по приведенной схеме, рассчитанной на 1 м^3 поступающей сточной воды, составляет – 37200 ккал/м^3 . В результате реализации предложенного способа очистки сточных вод будет получено следующее количество энергии:

- при охлаждении сточных вод после анаэробного процесса с помощью теплового насоса с эффективностью 75% – 11500 ккал/м^3 ;
- за счет сжигания осадка после анаэробного процесса – 24200 ккал/м^3 ;
- от полученного метана – $1/3$ в виде электрической энергии, или $1,3 \text{ кВт} \cdot \text{час/м}^3$, остальные $2/3$ в виде тепловой энергии, составляющей 2200 ккал/м^3 .

Всего получено энергии 37900 ккал/м^3 .

Таким образом, по тепловой энергии достигается положительный баланс с небольшим запасом на тепловые потери, а также получено $1,3 \text{ кВт} \cdot \text{час}$ электрической энергии с каждого кубического метра очищаемой воды. В то время как реализация процесса очистки сточных вод по существующим сейчас схемам в оптимальных температурных режимах потребовала бы дополнительных затрат энергии из внешних источни-

ков в количестве не менее 30000 ккал/м^3 очищаемых стоков.

Одним из главных факторов интенсификации процесса метаногенеза является повышение скорости биохимического сбраживания биомассы и увеличение содержания биометана в биогазе. Согласно нашим новым исследованиям это достигается введением в состав ферментируемой биомассы некоторых природных биологически активных веществ из класса флавоноидов и сапонинов в микроколичествах $10^{-3} \div 10^{-4}$ масс.%, проявляющих фитокаталитические свойства [7, 8]. Согласно полученным данным скорость процесса возросла в 2-2,5 раза, и содержание метана в биогазе увеличилось с 60 до 85-92%, при этом лаг-фаза процесса, характеризующая начало газовыделения в метаногенном процессе, существенно ускорилась, а калорийность получаемого биогаза увеличилась с 5500 до 7400 кДж/м^3 . Одновременно с этим предложены несколько вариантов способов и конструкций установок для селективной доочистки биогаза от сопутствующих примесей в нем – CO_2 и H_2S до требований, предъявляемых к природному газу (патенты MD 67Y, 171Y, 2767, 3928, 4418, заявка MD 2014-0117 от 10.11.2014 г., опубл. ВОПІ №3/2016 г.).

Другим интенсифицирующим фактором, повышающим эффективность биогазовых процессов, является использование физического или физико-химического воздействия при их протекании. Среди них следует отметить возможность магнитооживления сырьевой биомассы и ее эжекторную рециркуляцию (патент MD 4244), фотокаталитическое и магнитное воздействие (патент MD 3062), электрохимическая деструкционная обработка труднодеградируемой биомассы (патент MD 3994), использование процессов микрофльтрации для доочистки сточных вод, а также возможность проведения анаэробного сбраживания при повышенном давлении (патент MD 4376), что позволяет получать биогаз с содержанием метана в нем до 95%.

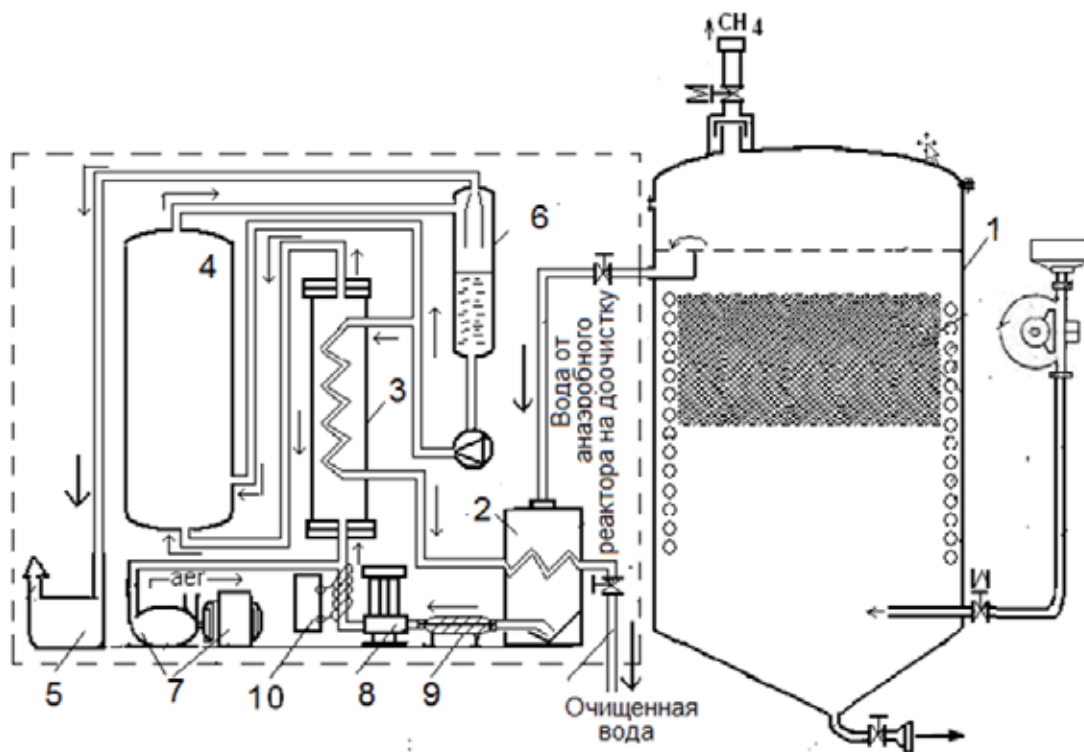


Рис.3. Схема комбинированной биогазовой установки с системой термоокислительной обработки воды от стойких токсичных загрязнений:

1 – анаэробный биореактор; 2 – змеевиковый сборник; 3 – теплообменник; 4 – окислительный реактор; 5 – газовая турбина; 6 – сепаратор; 7 – воздушный компрессор; 8 – насос высокого давления; 9 – шнековый насос; 10 – преобразователь кристаллизации солей жесткости

Определенный интерес представляет наше предложение по доочистке воды от процессов анаэробного сбраживания биомассы с использованием термоокислительного жидкофазного ее обезвреживания (рис. 3). Метод состоит в окислении кислородом воздуха органических примесей сточной воды при докритической температуре воды 300-350°C и давлении до 10-15 мПа (заявка MD а 2017-0108 от 26.12.2017 г.). Преимущества этого процесса заключаются в более высокой эффективности водоочистки и экономии затрат по сравнению с аэробной доочисткой. В зависимости от температуры и времени контакта, окисление органических труднодеградируемых примесей до их минерализации происходит практически полностью до CO, CO₂ и H₂O, обеспечивая высокую степень их доочистки в непрерывных условиях эксплуатации.

На рис. 4 приведена схема энергоэффективного реактора получения биогаза, в которой благодаря совместности реакторов анаэробного сбраживания биомассы и ее силосования обеспечивается сбалансирование тепловых режимов на разных стадиях биологических процессов при их реализации. Тепловой режим в нем поддерживается благодаря экзотермическому выделению тепловой энергии в процессе анаэробного биохимического гидролизного силосования целлюлозосодержащей биомассы, протекающего во внешнем биореакторе. Затем гидролизованная биомасса периодически переносится с помощью вертикального спиралеобразного шнека во внутренний биореактор для ее утилизации в биогазовом процессе.

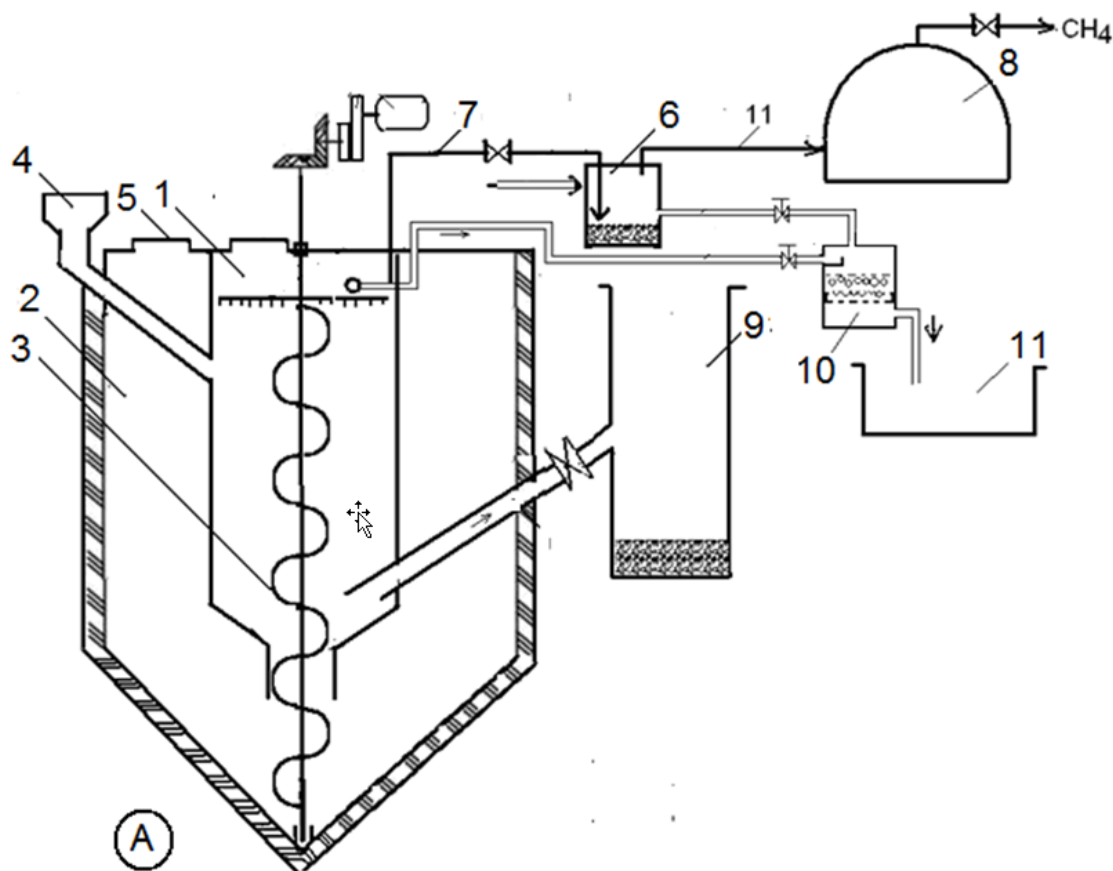


Рис.4. Энергоэффективный комбинированный биогазовый реактор для фермерских хозяйств (заявка МД а 2017-0108): 1 – внутренний биогазовый реактор; 2 – внешний реактор гидролизного силосования; 3 – шнек; 4 – загрузка биомассы; 5 – загрузка силоса; 6 – водяной затвор; 7 – отвод биогаза; 8 – газгольдер; 9 – сборник сброженной биомассы; 10 – угольно-зернистый фильтр; 11 – бассейн микроводорослей

На рис.5 приведен реактор, дополнительно содержащий ветровую турбину, которая содержит 4-16 лопастей спирального профиля с переменной кривизной поверхности лопасти, расположенных наклонно к оси вращения для обеспечения равномерности вращения ротора при скоростях ветра 2-7 м/сек., а также включает пассив-

ные солнечные коллекторы, обеспечивающие технологический подогрев биомассы посредством трубчатых подогревателей. Центральная труба окружена в реактор с закрепленной на ней мешалкой спиральной формы с вертикальными лопатками, установленными перпендикулярно оси.

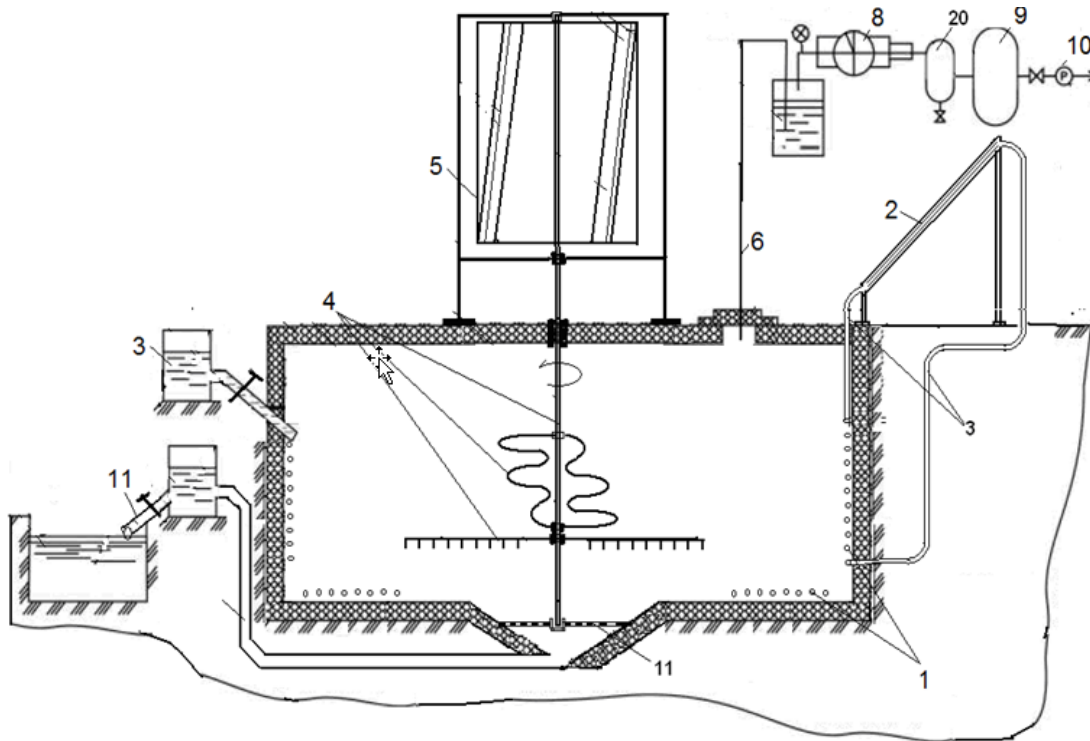


Рис.5. Низкостойимостной энергонеависимый биогазовый реактор с системами возобновляемой энергии: 1 – корпус; 2 – солнечный коллектор; 3 – загрузка биомассы; 4 – стержневая мешалка; 5 – ветровая турбина; 6 – газоотводная труба CH_4 ; 7 – компрессор; 8 – ресивер; 9 – газгольдер; 10 – отвод осадка; 11 – газовый редуктор (патент MD 4431)

При этом оба приведенных реактора выполнены в грунте для снижения тепловых потерь и стабилизации температурного режима анаэробного сбраживания биомассы.

На станциях отчистки сточных вод образуются органические осадки, требующие отдельной обработки с последующим их использованием/утилизацией или захоронением/складированием. В связи с ростом числа очистных станций канализации и их влиянием на окружающую среду вопросам обработки и использования осадков сточных вод в последнее время уделяется все больше внимания.

Непрерывное увеличение объема осадков сточных вод, связанное с демографическим ростом и урбанизацией населения создаёт все больше и больше проблем муниципалитетам. До недавнего времени обработка осадков сточных вод считалась второстепенной проблемой. Известно однако, что они содержат патогенные микроорганизмы, а в совокупности с их предраспо-

ложением к загниванию в сыром виде они представляют значительную угрозу для окружающей среды и здоровья человека.

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 применяются для их уплотнения, обезвоживания, термической и/или солнечной сушки, а также одновременного предотвращения неприятных запахов путем уничтожения, сжигания, анаэробного сбраживания для стабилизации органической части осадков с выделением биогаза для генерирования „зелёной“ энергии.

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. Дли-

тельность 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. В этом случае в закрытых теплоизолированных ёмкостях искусственная аэрация осадков сточных вод приводит к выделению тепла разложения органической массы, которая поднимает температуру до 55-80°C.

Для обработки осадков сточных вод очистных сооружений канализации 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 органико-минерального удобрения в сельском хозяйстве, для чего она может быть обезвожена и подвергнута компостированию; возможно использование вермикультуры с получением биогумуса и протеинов, что поднимает ценность вторичного продукта;
- б) для утилизации в качестве топлива после предварительной подсушки, ускоренного пиролиза и прессования.

Таким образом, предложенная концепция интегрированной обработки осадков сточных вод может быть предложена для преобразования очистных сооружений канализации в независимые предприятия в энергетическом и экономическом отношении для получения экономической выгоды за счет утилизации биогаза и вторичных продуктов в виде удобрений, с тенденцией к безотходному производству.

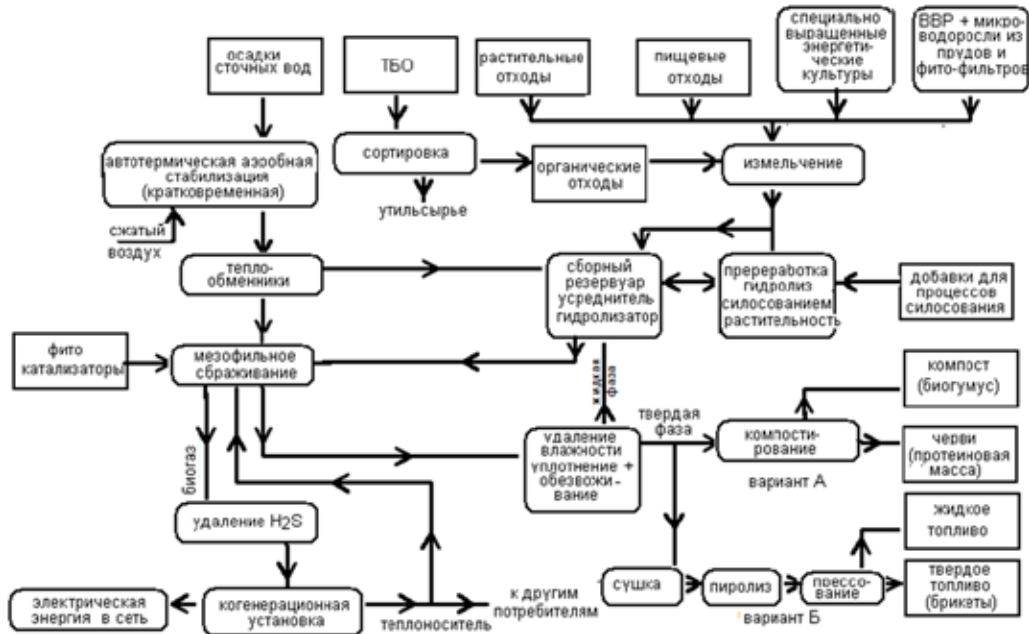


Рис. 6. Принципиальная технологическая схема интегрированной обработки осадков сточных вод совместно с другими органическими отходами

Как видно из рис.б, для систем канализации первоначальной задачей является очистка сточных вод с тем, чтобы вернуть природе чистую воду, без загрязнения, но в то же время сточные воды могут быть источником „зелёной” энергии и других вторичных продуктов, содержащих редутилируемые вещества, имеющих как экономическую, так и экологическую ценность.

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

Другим утилизируемым продуктом анаэробного сбраживания осадков сточных вод является биогаз, который представляет собой источник возобновляемой „зелёной” энергии, с помощью которого посредством когенерации можно получить как тепловую, так и электрическую энергию 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. Важным в этом процессе является возможность обеззараживания обрабатываемых коммунальных сточных вод в этих процессах от гельминтов.

Утилизация осадков сточных вод в сельском хозяйстве в качестве удобрений, содержащих органические вещества и биогенные элементы для растений (N, P, K), может осуществляться двумя путями – ирригацией с/х земель в жидком состоянии и путем компостирования обезвоженных осадков, используя для этого 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 его использовании 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 рециркулу 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 ферментации, оборудованные системами принудительной аэрацией; это активная фаза разложения органического вещества, сопровождаемая развитием микроорганизмов, которые поднимают температуру до величин, ведущих к гигиенизации осадка (~60°C) путем уничтожения патогенных фекальных бактерий. Аэрирование содействует развитию грибков 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 грибков, эта фаза длится от 3 до 4 недель. Температура спадает и потребление кислорода меньше, по окончании этой фазы компост считается стабильным.

Европейская рамочная директива 2008/98/CE 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 сырьё, которое за-

меняет 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 при анаэробном сбраживании с получением и утилизацией биогаза – наиболее широко распространенный способ стабилизации органических осадков, позволяющий предотвратить ферментацию 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 дигеста-та анаэробного сбраживания.

Интерес к этой технологии возрастает, и предпринимается исследования интенсификации процесса получения биогаза и роста его выхода. Одним из таких путей является коферментация осадков сточных вод совместно с различными органическими отходами, как жидкими, так и твердыми. Таковыми могут быть углеводы, белковые вещества (протеины), жироподобные вещества (липиды), целлюлоза, гемицеллюлоза в качестве основных составляющих применяемых субстратов. Таким образом, в качестве косубстратов для анаэробного сбраживания, кроме осадков сточных вод, могут служить навоз животных, растительные отходы, агропромышленные органические отходы, пищевые отходы, органические фракции твердых бытовых отходов, энергетические культуры типа ивы и

др. Такие косубстраты 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 к увеличению продукции биогаза по сравнению с одними осадками сточных вод до 50%, что объясняется синергетическим эффектом.

Особенностью использования косубстратов 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 продуктивность и выход биогаза. В процессе силосования растворенные углеводы, содержащиеся в биомассе, подвержены молочнокислому брожению. Такая реакция приводит к снижению pH и потерям содержащихся в исходном субстрате органических веществ. Увеличение продукции биогаза при предобработке силосованием объясняется разложением полисахаридов, содержащихся в структуре растений, в более легко разлагаемые промежуточные соединения.

Вместе с тем, 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 недостаточного количества биомассы. В то же время для улучшения баланса анаэробного сбраживания считаем целесообразным использование других смежных растительных или пищевых органических отходов с

высоким энергетическим потенциалом, включая опавшие осенние листья деревьев.

Для использования осадков очистки сточных вод в качестве удобрения и их гигиенизации они могут быть подвержены термической сушке, в результате чего продукт может быть представлен в виде полностью стабилизированных гранул, которые могут быть дополнительно обогащены 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 объема 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. Чаше 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 органических компонентов по вышеописанному способу, производимое в условиях докритического или сверхкритического нагрева сточных вод до 300-350°C и давления до 50 бар для практически полной деструкции органических веществ, что позволяет исключить процессы обезвоживания и сушки осадков;

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

в) газификация позволяет превращение твердых органических отходов при высокой температуре (900-1100°C) с получением теплотворного газа для последующего использования его для генерирования электроэнергии с высоким энергетическим к.п.д. и 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, что ведет к выделению горючего газа и образованию твердого материала – кокса;

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

Заключение

1. В связи с увеличением/ростом антропогенных органических отходов, как жидких в виде концентрированных и трудно разлагаемых сточных вод, так и твердых бытовых и промышленных, проблема их энергосберегающей обработки, рецикла и ликвидации стала глобальной из-за их влияния на окружающую человека среду. В этом смысле, в республике накопился некоторый опыт, в частности, относящийся к очист-

ке сточных вод: анаэробное сбраживание навозных стоков, сточных вод сахарных и спиртоперегонных производств, совмещенное с аэробным процессом доочистки перед сбросом в водоем.

2. Параллельно с ростом числа очистных станций канализации населенных мест и их влиянием на окружающую среду остро встал вопрос обработки и использования осадков сточных вод, создающих все больше проблем муниципалитетам. Основным процессом в технологии обработки осадков сточных вод является стабилизация их органической части, что может быть эффективно решено сочетанием предварительной аэробной автотермической термофильной стабилизацией с последующим анаэробным мезофильным сбраживанием. При этом одновременно обеспечиваются стерилизация/дезинфекция осадков и рост выхода биогаза, к производству которого возрос интерес, т.к. он представляет регенерируемую энергию, решая и вопросы предотвращения газов с парниковым эффектом.

3. Сброженная биомасса (дигестат), наряду с биогазом, является другим вторичным продуктом анаэробного сбраживания осадков сточных вод, который используется преимущественно в качестве органоминерального удобрения в сельском хозяйстве, ценность которого возрастает при условии его последующего компостирования в сочетании с вермикультурой, при совместном использовании органической фракции ТБО.

4. Предложена также концепция интегрированной обработки осадков сточных вод совместно с посторонними для очистных станций отходами: растительными, агропромышленного производства, которые предварительно подвергаются измельчению, гидролизу и силосованию, смысл которой заключается в трансформировании очистных станций канализации в независимые в энергетическом и экономическом отношении предприятия за счет утилизации биогаза и вторичных продуктов в виде удобрений и протеинового сырья, с генеральной тенденцией к безотходному производству.

5. Для токсических осадков и органических отходов предлагаются альтернативные технические решения использования и ликвидации, как то сжигание, жидкофазное окисление, газифика-

ция, пиролиз и термолиз, грибковая технология, производство биоразлагаемого пластика, продолжительное складирование в хранилищах с целью гигиенизации, захоронение и т.п.

ЛИТЕРАТУРА

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 all. (2013). *La co-digestion anaerobique 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., MALINA, J., DUCA, GH., COVALIOVA, O., BOBEICA, V. *Applocation of Bioactive Substances in the biogas*. In "Management of Water Quality in Moldova". Springer (2014), p. 225-241.
8. Ковалев, В., Дука, Г., Ковалева, О. «Зеленая энергия»: инновационные экобиотехнологии и комбинированные реакторы. Антология изобретений. CEP USM, 2017. -504 с.
9. COVALIOV, V., UNGUREANU, D., COVALIOVA, O., IONET, I. (2014). *Degradarea fermentativă a biomasei celulozice pentru producerea biogazului: 1. Metode de preprocesare*. Studia Universitatis Moldaviae, Seria „Științe reale și ale naturii”, 71, nr.1: 130-134.
10. DOMINGUEZ, J., GOMEZ-BRANDON, M. (2012). *Vermicomposting: Composting with Eartworms to recycle organic wastes*. Management of organic wastes, InTech:29.

11. ESPOSITO, G. et all. (2012). *Anaerobic co-digestion of organic wastes*. Rev. Environ. Sci. Biotechnol., DOI: 10.1007/s 11157-012-9277-8.

12. GAVORKI, M. et all. (2017). *Enhancing 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.

13. ZUPANCIC, G.D., GRILC, V. (2012). *Anaerobic treatment and biogas production from organic waste. Management of organic waste*, InTech, Dr. Sunil Kumar (Ed.).

14. Brevet MD Nr. 67Y Instalație de epurare a biogazului cu regenerarea dioxidului de carbon. BOPI nr. 8/2009.

15. Brevet MD Nr. 171Y Gazometru umed de capacitate variabilă. BOPI nr. 3/2010.

16. Brevet MD Nr. 2767 Procedeu și instalație pentru purificarea biogazului de hidrogen sulfurat. BOPI nr. 7/2005.

17. Brevet MD Nr. 3928 Instalație pentru acumulare și epurarea biogazului. BOPI nr. 6/2009.

18. Brevet MD Nr. 4418 Instalație combinată pentru extragerea selectivă a CO₂ din biogaz și creșterea microalgelor. BOPI nr. 5/2016.

19. Cerere de brevet MD Nr. 2014-0117 din 2014.11.10, publ. BOPI, 3/2016.

20. Brevet MD Nr. 4244 Reactor anaerob combinat pentru obținerea biometanului. BOPI nr. 7/2013.

21. Brevet MD Nr. 3062 Metantanc anaerob pentru epurarea apelor reziduale. BOPI nr. 5/2006.

22. Brevet MD Nr. 3994 Instalație pentru preluarea anaerobă a borhotului de la vinificație. BOPI nr. 12/2009.

23. Brevet MD Nr. 4376 Reactor combinat de presiune înaltă pentru obținerea biogazului. BOPI nr. 10/2015.

24. Cerere de brevet MD Nr. a2017-0108 din 2017.12.26 Instalație combinată pentru epurarea apelor uzate de poluanți organici.

25. Brevet MD Nr. 4431 Instalație de obținere a biogazului cu sisteme de surse regenerabile de energie. BOPI nr. 8/2016.

РЕФЕРАТ

Концепция эколого-энергоэффективности процессов обработки органических отходов.

Дов. Экологические проблемы являются жизненно важными для человечества. Не в последнюю очередь это касается сбросов плохо очищенных сточных вод, твердых отходов, накапливающихся мусорных отвалов и связанных с ними нестерпимыми запахами в воздушных выбросах от них. В статье предложена концепция интегрированной обработки осадков сточных вод совместно с посторонними для очистных станций отходами: растительными, агропромышленного производства, которые предварительно подвергаются измельчению, гидролизу и силосованию, смысл которой заключается в трансформировании очистных станций канализации в независимые в энергетическом и экономическом отношении предприятия за счет утилизации биогаза и вторичных продуктов в виде удобрений и протеинового сырья, с генеральной тенденцией к безотходному производству. Для токсических осадков и органических отходов предлагаются альтернативные технические решения использования и ликвидации, как то сжигание, жидкофазное окисление, газификация, пиролиз и термолиз, грибковая технология, производство биоразлагаемого пластика, продолжительное складирование в хранилищах с целью гигиенизации, захоронение и т.п.

Ключевые слова: сточные воды, органические отходы, утилизация биогаза, очистные станции, „зелёная” энергия.

REZUMAT

Conceptia eficienței ecologice și energetice a proceselor de tratare a deșeurilor organice.

Problemele ecologice sunt vital importante pentru umanitate. Nu în ultimul rând, acest fapt se referă la deversările de ape uzate prost tratate, deșeurile solide, gropile de gunoi acumulate și mirosurile insuportabile generate de emisiile din aer rezultate de la acestea. În articol se propune o concepție de tratament integrat al reziduurilor apelor uzate împreună cu deșeurile improprii pentru stațiile de epurare a apelor uzate: cele vegetale, din exploatarea agro-industriale, care sunt supuse mai întâi mărunțirii, hidrolizei și însilozării. Sensul acestei concepții constă în transformarea stațiilor de epurare a apelor uzate de canalizare în întreprinderi independente din punct de vedere energetic și economic prin

utilizarea biogazului și produselor secundare sub formă de îngrășăminte și materii prime proteice, cu o tendință generală de eliminare a deșeurilor din producție. Pentru reziduurile toxice și deșeurile organice se propun soluții tehnice alternative de utilizare și eliminare, cum sunt arderea, oxidarea în fază lichidă, gazificarea, piroliza și termoliza, tehnologia fungică, producția de plastic biodegradabil, depozitarea pe termen lung în depozite pentru igienizare, îngroparea etc.

Cuvinte-cheie: *ape reziduale, deșeuri organice, utilizarea biogazului, stații de epurare a apelor uzate, energie „verde”.*

ABSTRACT

The Concept of Eco-Energy Efficiency of the Organic Waste Processing Processes. Environmental problems are of vital importance for mankind. Last but not least, it concerns discharges of poorly treated sewage, solid waste, accumulated

waste dumps, and related unbearable smells of air emissions therefrom. The article proposes the concept of integrated treatment of sewage sludge together with extraneous for the waste treatment plants waste: vegetable, agro-industrial production, which are preliminarily subjected to grinding, hydrolysis and siloing, the meaning of which is the transformation of sewage treatment plants into independent in terms of energy and economics enterprises through utilization of biogas and secondary products in the form of fertilizers and protein raw materials, with a general trend towards wasteless production. For toxic precipitations and organic wastes, alternative technical solutions for use and disposal are proposed, such as combustion, liquid-phase oxidation, gasification, pyrolysis and thermolysis, fungal technology, production of biodegradable plastics, long-term storage in warehouses for hygienization, burial, etc.

Key words: *sewage, organic waste, utilization of biogas, sewage treatment plants, “green” energy.*