

УДК 66:658.567.1

ВАРИАНТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ И ДРУГИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ТОВАРНЫЕ ПРОДУКТЫ

канд. техн. наук, доц. Р.А. АНДРЕЕВА, д-р техн. наук, проф. Г.Н. АБАЕВ
(Полоцкий государственный университет)

Приводится оценка объемов и теплотворной способности органосодержащих отходов Республики Беларусь, а также варианты их комплексной переработки с получением энергоносителей и других товарных продуктов.

При утилизации отходов региона с максимальной пользой необходимо учитывать следующие факторы:

- суммарные техногенные нагрузки, связанные с образованием твердых, жидких и газообразных промышленных, сельскохозяйственных, а также коммунальных органосодержащих отходов;
- их объемы, происхождение, сезонные характеристики их образования;
- класс опасности (токсичность), санитарно-гигиеническое состояние;
- социально-экономические аспекты – стоимость земли (аренды), размеры налогов;
- состав и калорийность отходов;
- текущие и перспективные потребности региона в определенных товарных продуктах и энергоресурсах.

В данной работе проводится анализ возможности круглогодичного использования органосодержащих отходов в Республике Беларусь как аналогов возобновляемого сырья для производства энергоносителей (топливного газа, горячей воды, пара и пр.) и других полезных продуктов (углекислого газа – для использования в тепличных хозяйствах, зеленой продукции теплиц закрытого грунта). Оцениваются во взаимосвязи состав, калорийность сухого беззольного вещества отходов, сезонность, объемы их образования и варианты организации переработки по технологии комплексной переработки органосодержащих отходов (КПОО) [1] в зависимости от потребности в определенных целевых продуктах и финансовых возможностей конкретного региона страны.

В таблице 1 представлены крупнотоннажные отходы, имеющие место в Республике Беларусь. Их количественный и качественный состав несколько отличается по годам и по отдельным регионам республики, но в целом, при устоявшейся системе хозяйствования, является величиной постоянной [2 – 4]. Очевидно, что теплотворность отходов зависит от состава органического вещества, доли влаги и золы.

Таблица 1

Органосодержащие отходы
(в тоннах сухого органического вещества)

Наименование	Млн. тонн в год
Отходы очистных сооружений (избыточная масса активного ила, сырой осадок и пр.)	1,0
Отходы сельскохозяйственного производства (навозы, растительные остатки, отходы с/х продуктов переработки)	2,0
Отходы лесного хозяйства, садово-ягодного производства, гидролизного производства (лигнин), озерные илы – сапропели	1,0
Отходы коммунального хозяйства (ТБО)	1,0
Отходы промышленного производства, пищевой и перерабатывающей промышленности	1,0

Представленные в таблице 1 отходы содержат в составе сухого беззольного вещества от 60 до 94 % масс. [7 – 10] следующие органические соединения: углеводы (преимущественно целлюлоза), жиры (липиды), белки, лигнин. Однако доля отдельных соединений в органическом веществе различных отходов, и соответственно их соотношение, [4] несколько варьирует. В частности, содержание жиров, углеводов и белков в органическом веществе илов и осадков составляет от 60...65 % до 90 % масс. [5], навозов (крупнорогатого скота, свиней, птиц) – от 70 до 90 % [6], отходах растительного происхождения – от 78...79 % (ботва) до 94 % (солома злаков) [7]. Все органосодержащие отходы животного и растительного происхождения содержат кислород, углерод, водород и азот, на долю которых приходится до 98 % массы клетки. Больше всего в живых клетках кислорода (65...75 %), что связано в основном с наличием воды (до 98 % масс.). В сухом веществе соотношение элементов меняется, и на первое место становится углерод. Из вышерассмотренных органических соединений наиболее кислородонасыщенными являются углеводы, далее – белки. Самые восстановленные соединения – жиры. Отсюда их потенциальная энергоемкость (калорийность) составляет: 4,1 ккал/г (~ 17 кДж/г) – углеводы; 23,7 кДж/г – белки; 9,3 ккал/г (38,9 кДж/г) – жиры [8]. Но теплотворная способность отходов зависит также и от содержания в них влаги и зольных

элементов. Очевидно, что если среднее содержание неорганических соединений, представленных в табл. 2 отходах, относительно постоянно и составляет в среднем от десятых долей до 10...15 %, то теплотворность отходов во многом определяется массовой долей содержания в них воды. Расчет калорийности материала отходов без учета зольности может быть произведен по следующей формуле:

$$H_a = H_o(1 - n) - 640n,$$

где H_a , H_o – калорийность материала отхода и сухого органического вещества в нем, ккал/кг или кДж/кг; n – влага в материале отходов, дол. ед.

Таблица 2

Состав и высшая теплотворная способность сухого органического вещества отходов

Отходы	Состав, % масс		% масс от сухого органического вещества			Высшая теплотворная способность органического вещества, ккал/кг (кДж/кг)
	Влага	Зола	С	Н	О	
Древесные отходы	35...40	4...5	45...50	6	44	4500...4700 (19,2)
Твердые бытовые отходы (орг. комп.)	26	2...28	51	7...8	42	5300 (22,2)
Отходы промышленных очистных сооружений (биомасса активного ила + сырой осадок, 1:1)	Более 90	0,1...0,3	62	7	25	6470 (27,1)

Ранее отмечалось [1], что для стабильного производства неископаемого топлива – калорийного топливного газа, в комплексе по переработке органосодержащих отходов в качестве сырья могут использоваться такие крупнотоннажные отходы (непрерывно образующиеся в процессе производственной и коммунальной жизни людей), как отходы промышленных очистных сооружений, твердые бытовые отходы (ТБО) и древесные отходы (лесное и садовое хозяйство).

Из состава ТБО в процессе сортировки должны выделяться для переработки в топливный газ органосодержащие компоненты – пищевые отходы животного и растительного происхождения, бумага, текстиль, древесные отходы. Связано это с тем, что считается экономически неэффективно подвергать данные составляющие ТБО рециклингу (в отличие, например, от металла, стекла, пластика), но целесообразно перерабатывать в топливо (например, для промышленных котлов) [9 – 10]. Доля этих компонентов в составе ТБО составляет в среднем 50...70 % масс. Соотношение между массой отдельных фракций несколько меняется в течение года, но общепринято, что основные фракции – это пищевые отходы и бумага. В табл. 2 приведены данные по составу и расчетной высшей теплотворной способности органического вещества рассматриваемых отходов. При этом в расчете по ТБО использовалась модельная смесь следующего состава, % масс.: бумага – 50...57; пищевые отбросы (животного и растительного происхождения) – 30...38; древесные отходы – 4...5 [9].

Крупнотоннажные отходы очистных сооружений – сырые осадки и избыточная биомасса активного ила образуются в объеме порядка 1 % от расхода очищаемых сточных вод. Их особенностью является очень высокая обводненность (более 90 % масс.). Поэтому использование их в качестве сырья для производства энергоносителей требует удаления из них большей доли влаги. Состав подобных отходов достаточно стабильный [5, 8].

К постоянно образующимся органосодержащим отходам в сельской местности (агротерритории, сельскохозяйственные кооперативы) относятся отходы животноводства – навозы и отходы полеводства (садоводства) – ботва травянистых сельскохозяйственных растений, солома зерновых культур, стебли масличных и др. культур. Особенностью отходов растительного происхождения является то, что основная масса их накапливается в конце вегетационного периода, в то время как навозы образуются круглогодично. Состав и теплотворная способность этих отходов несколько различаются. В таблице 3 приведен состав [6, 7] и расчетная калорийность трех (наиболее распространенных групп животных в Республике Беларусь) видов навоза – от крупнорогатого скота, свиней и птиц (куры). Анализ данных показывает, что энергоемкость сухого беззольного вещества различных навозов очень близка и составляет порядка 12...15 МДж/кг.

Состав и теплотворные свойства растительных отходов определяются в основном также долей содержания органического вещества, его калорийностью, а также долей воды. Средняя теплотворная способность данных отходов (при средней влажности порядка 20 %) составляет соответственно у стеблей подсолнечника, веток кустарников, стеблей кукурузы, соломы зерновых культур – 12,5; 10,5; 12,5; 10,5 МДж/кг [7].

Особенностью травянистых отходов (ботва, кожура корнеплодов и пр.) является их высокая влажность (более 80 % масс.), что значительно снижает суммарную энергоемкость этого вида отхода.

Таблица 3

Состав и теплотворная способность органического вещества навоза

Компонент (% к абсолютно сухому веществу); показатель (ккал/кг; МДж/кг)	Крупнорогатый скот	Свиньи	Куры
Суммарное органическое вещество	77...85	77...84	76...77
Клетчатка	27...50	19...21	13...18
Жир	2,9...4,3	3,5...4,0	2,4...5,0
Протеин	9,3...20,7	16,4...21,5	20,5...42,1
Лигнин	16...30	–	9,6...14,3
Теплотворная способность	3500 (14,7)	3490 (14,6)	2800 (11,7)

Сопоставительный анализ калорийности сухого беззольного вещества вышеприведенных крупнотоннажных отходов показывает, что несмотря на разнообразие сельскохозяйственных отходов их калорийность составляет приблизительно 10...15 МДж/кг, что существенно ниже теплотворной способности органических составляющих ТБО (~22 МДж/кг), а также отходов промышленных очистных сооружений (~27 МДж/кг). Существенные различия влажности отходов определяют разнообразие методов подготовки отходов перед их использованием как сырья для производства энергоносителей.

С учетом объемов крупнотоннажных отходов Республики Беларусь (см. табл. 1) и оценкой теплотворной способности, их суммарная потенциальная энергоемкость составляет величину порядка 4 млн. т условного топлива, что сопоставимо с энергоемкостью отечественных природных ресурсов.

Извлечение и полезное использование энергопотенциала отходов является, однако, энергозатратным процессом. Причем основные затраты обусловлены необходимостью подведения в процессы дополнительного тепла. Исходя из этого, что технология рекуперации энергопотенциала отходов должна быть максимально автотермичной и состоять из минимального числа стадий (операций) переработки; процесс переработки отходов должен заканчиваться производством рентабельных целевых продуктов.

Ранее приводилось [1], что подобный процесс возможно реализовать при комплексной переработке органосодержащих отходов (КПОО). Комплекс состоит из основных и вспомогательных стадий переработки, осуществляемых в определенной последовательности: подготовка сырья (смешение, обезвоживание) → анаэробное сбраживание → термохимическая деструкция. При этом используется как стандартное оборудование, так и оригинальное. Анаэробное сбраживание органосодержащих отходов и их последующая термохимическая переработка проводятся в нестандартном оборудовании – метантенке-теплице и реакторе (рис. 1). В них используется принцип совмещения ряда технологических процессов в одном аппарате, что существенно снижает материальные и тепловые потери и позволяет практически 70...80 % потенциала органического вещества отходов превращать в топливный газ и другие полезные продукты. Лишь 20...30 % от массы органического вещества обеспечивают практически полную автотермичность комплекса.

Метантенк-теплица – сооружение, состоящее из независимых конструкций: метантенка (анаэробное сбраживание с производством биогаза) и закрывающей сверху метантенк теплицы закрытого грунта (интенсивный фотобиосинтез с использованием CO₂ со стадии метаногенеза). Метантенк погружен в подземный бункер. Теплица, расположенная на поверхности земли, закрывает метантенк от теплопотерь. В реакторе совмещены процессы обезвоживания отходов, их пиролиза с производством топливного газа (пирогаза) и сжигание непиролизованных остатков. Тепло от последнего процесса обеспечивает тепловую энергию эндотермическую стадию термохимической деструкции – пиролиз. Температуры метаногенеза +33(+55 °C); пиролиза +450...500 °C; сжигания +500...550 °C. Рекуперация тепла газов (пирогаза и газов горения) теплоносителем (вода) позволяет последовательно (по замкнутому контуру) передавать тепло на теплозависимые стадии комплекса – метаногенез и фотобиосинтез. Утилизация CO₂ (из биогаза) в теплицах повышает приблизительно в 4 раза выход товарной продукции [10].

В данной работе предлагается схема совмещенных вариантов (рис. 2), в которой возможно использование отходов (сырья), имеющих различное происхождение, состав и периодичность образования. Подобный вариант стабильной круглогодичной переработки возобновляемого сырья в энергоносители возможен для территориально-промышленных комплексов или агрогородов, где функционирует круглогодично система коммунального и промышленного канализования сточных вод на очистные сооружения, образуя органосодержащее сырье для переработки – избыточную массу активного ила и сырые осадки; где осуществляется организованный сбор, вывоз и сортировка городских твердых бытовых отходов с отделением металла, стеклобоя, пластмассы. В агрогородках, сельскохозяйственных кооперативах, специализирующихся на производстве мясной и молочной продукции, в качестве дополнительного сырья (а возможно и как основного) может рассматриваться навоз, а в летний период еще и растительные

отходы, не используемые в качестве компонентов кормов для сельскохозяйственных животных. Избыток в летнее время (против необходимого в КПОО) растительных отходов можно подвергать компостированию отдельно, либо со сброженными в метантенке отходами.

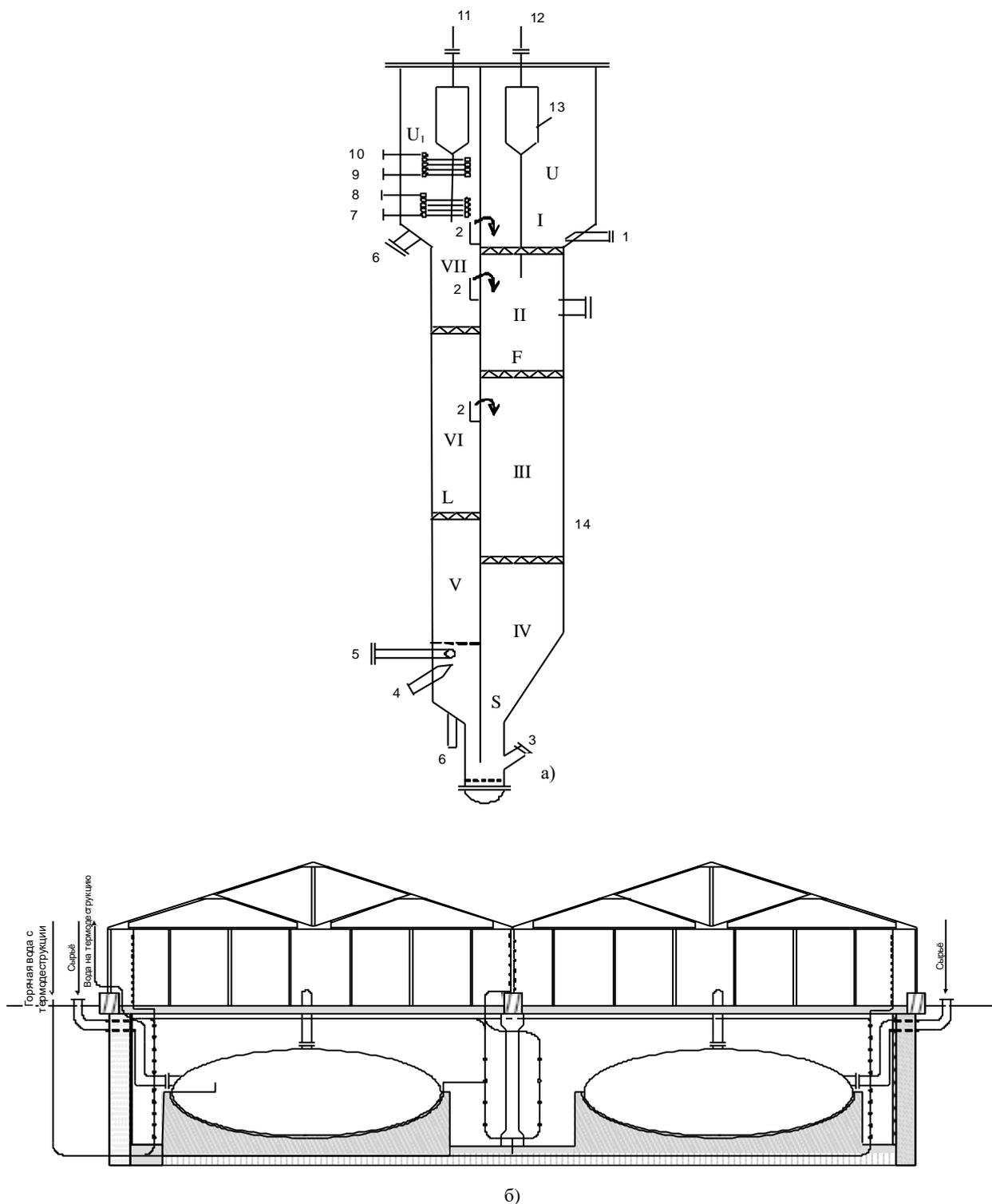


Рис. 1. Эскизы нестандартного оборудования КПОО:

- а – эскиз реактора (1 – загрузка отходов; 2 – переточный карман; 3 – люк загрузки теплоносителя; 4 – форсунка; 5 – вход воздуха; 6 – люк выгрузки; 7 – выход пара из пароперегревателя; 8 – вход пара из пароперегревателя; 9 – выход пара; 10 – вход питательной воды; 11 – выход дымовых газов; 12 – выход газов пиролиза; 13 – циклон; I – IV – зоны пиролиза; V – VII – зоны термоокисления);
 б) эскиз метантенка-теплицы

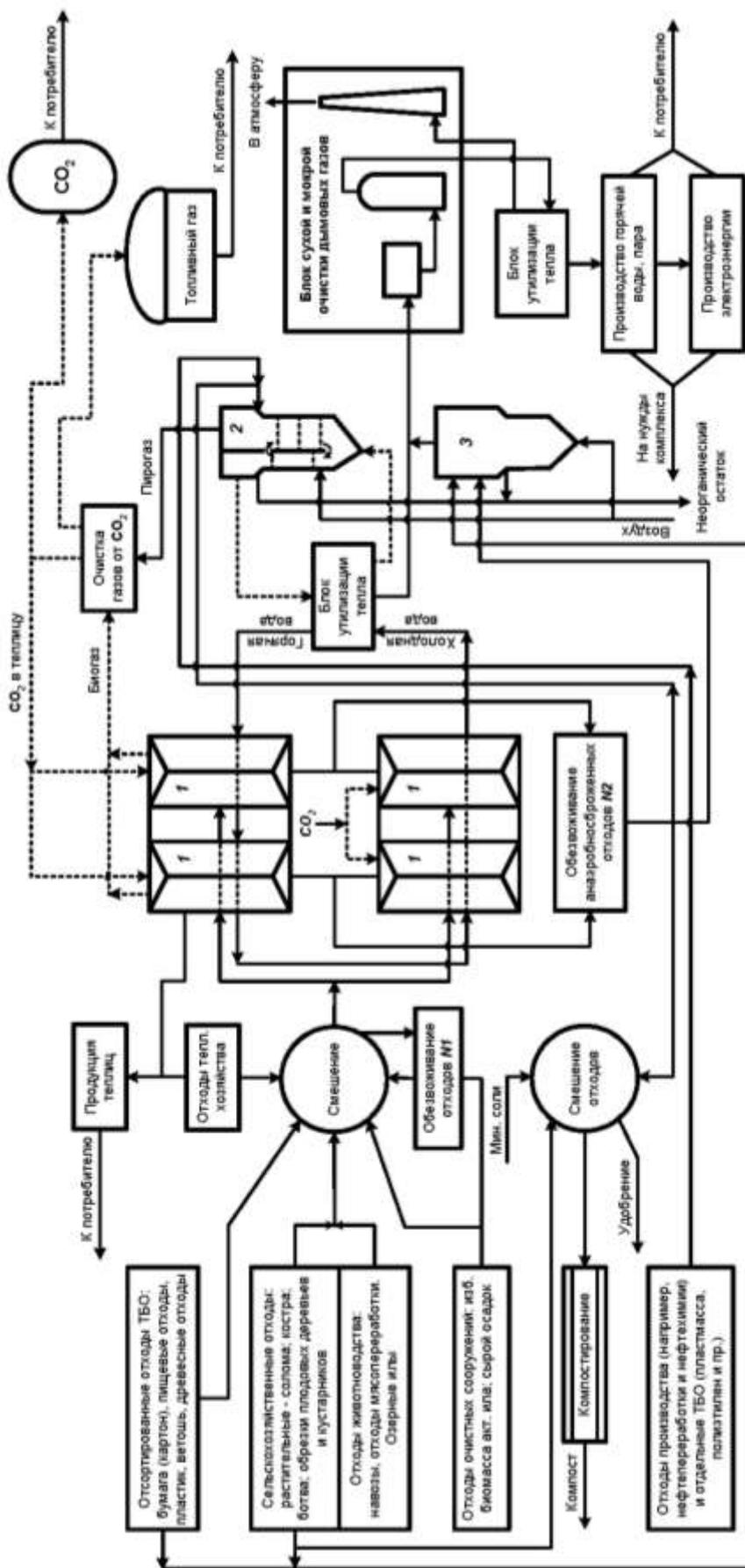


Рис. 2. Схема вариантов комплексной переработки органосодержащих отходов различного происхождения.
 1 – метангенк-теплица; 2 – реактор термодеструкции; 3 – реактор термоокислительной деструкции

В таблице 4 приведены некоторые варианты КПОО при круглогодичном функционировании и производстве энергоносителей: биогаза (14...19 МДж/кг), либо пирогаза (не ниже 37 МДж/кг), горячей воды (пара), продукции теплиц. При необходимости возможно производство и электроэнергии и горячего воздуха. Глубокая утилизация энергетического потенциала отходов позволяет производить топливо, 1,1...2,7 т которого заменят 1 т нефти (теплотворная способность нефти составляет примерно 41 МДж/кг), при минимуме неиспользованного сырья, и следовательно экологических проблем.

Таблица 4

Целевые продукты и варианты КПОО

Место образования отходов	№ варианта	Отходы и их смеси	Последовательность и виды переработки	Варианты целевых продуктов
Жидкие и твердые коммунальные отходы	1	Избыточная биомасса активного ила, сырые осадки	Смешение; обезвоживание № 1; анаэробное сбраживание (конверсия органического вещества ~10...20 %); обезвоживание № 2; пиролиз, сжигание непиролизованного органического вещества	Топливный газ; углекислота; продукция теплиц, горячая вода, пар, электроэнергия, сырье для нефтехимической промышленности (газ, углеводороды)
	2	Отсортированные отходы ТБО (пищевые, растительные отходы, бумага и пр.) + избыточная биомасса активного ила и сырой осадок + отходы теплиц закрытого грунта	Смешение; обезвоживание № 1; анаэробное сбраживание (10...20 %); обезвоживание № 2, пиролиз; сжигание непиролизованного органического вещества	Топливный газ; углекислота; продукция теплиц, пар, электроэнергия, горячая вода, неорганический остаток
	3	Отходы теплиц закрытого грунта	Смешение; обезвоживание № 1; анаэробное сбраживание (конверсия 50...60 %); обезвоживание № 2; сжигание несброженного органического вещества	Биогаз (65 % CH ₄ и 35 % CO ₂); продукция теплиц; пар; горячая вода; электроэнергия; неорганический остаток
Сельскохозяйственные отходы	4	Навоз свиной; растительные отходы (солома, костра). Навоз крупнорогатого скота, птицеводства; отходы растительной продукции.	Смешение, анаэробное сбраживание (50...60 %), обезвоживание № 2, пиролиз, либо сжигание	Биогаз; продукция теплиц; пар; горячая вода; электроэнергия; пирогаз; неорганический остаток
	5	Навоз, избыточная биомасса ила, сырые осадки, растительные отходы, органические бытовые отходы	Смешение, анаэробное сбраживание (50...60 %), обезвоживание № 2, смешение с минеральными солями	Биогаз; компост; органоминеральное удобрение
	6	Навоз, избыточная биомасса ила, сырые осадки, растительные отходы, органические бытовые отходы	Смешение, анаэробное сбраживание (10...20 %), обезвоживание № 2, пиролиз, сжигание несброженного органического вещества	Топливный газ, углекислота; продукция теплиц; пар; электроэнергия; горячая вода; неорганический остаток
Промышленные отходы	7	Отработанные масла, нефтешламы, полиэтиленовая пленка, кубовые остатки; некондиционные отходы пищевой и перерабатывающей промышленности; мусор	Смешение, термохимическая обработка (пиролиз; сжигание)	Пирогаз, углекислота; горячая вода; пар; электроэнергия
	8	Отходы пищевой и перерабатывающей промышленности; мусор	Смешение, сжигание	Горячая вода, пар, электроэнергия

Упомянутая выше обязательная последовательность в переработке КПОО обусловлена экспериментально установленным фактом [8], что органосодержащие субстраты растительного и животного происхождения, исходно содержащие кислородонасыщенные соединения (преимущественно белки и углеводы), в восстановленной среде под действием ферментов анаэробных микроорганизмов теряют значительную часть кислорода в составе летучих соединений (H₂O, CO₂). В результате значительно улучшаются все показатели последующей термохимической деструкции: увеличивается выход пирогаза, улучшается его состав и растет теплотворная способность за счет снижения в нем доли углекислого газа и роста доли углеводородов. Пиролиз подобных отходов без предварительного метаногенеза дает пирогаз с калорийностью не более 10...22 МДж/кг. Пиролиз восстановленных субстратов – отработанные масла, нефтешламы и другие полимеры – дает пирогаз с высокой калорийностью (табл. 5). Очевидно, их переработка анаэробным сбраживанием не принесет ожидаемых результатов.

Для утилизации устойчиво образующихся подобных отходов (мусороперерабатывающий завод – МПЗ, нефтеперерабатывающие и нефтехимические комбинаты) в КПОО возможна организация специальной линии, завершающейся термохимической (пиролиз – сжигание) переработкой. Однако ввиду высокой стоимости полимерных материалов (более 1000 дол./т) целесообразно данные материалы сохранять качественно (без изменения их химического состава).

Таблица 5

Состав и показатели пиролиза отходов нефтепереработки и нефтехимии

Вид отхода, температура пиролиза, °С	Состав, % от АСВ		Выход пирогаза, % от органиче- ского вещества	Состав пирогаза			Q _v , МДж/м ³
	Органическое вещество	Зола		СО + СО ₂	Н ₂	ΣУГВ (C ₁ –C ₅)	
Отработанные масла, 500...580	85	15	74	–	11,9	88,10	70...72
Полиэтиленовые шарики, 350...400	100	0	50	–	–	100	96
Нефтешлам, 400...500	77	23	51	12	13	75	34...35

Таким образом, на выбор варианта переработки органосодержащих отходов влияет ряд факторов: происхождение, состав, объемы отходов и выбранные целевые продукты переработки.

В частности, на рисунке 3 приведен эскиз технологического оформления проекта комплекса малой производительности (вариант 4, табл. 4). Задачей по данному варианту проекта является утилизация потенциальной энергии органического вещества свиных отходов для обеспечения теплом теплиц закрытого грунта. Известно, что в себестоимости тепличной продукции удельные энергозатраты составляют до 40...50 %. Целевыми продуктами по этому варианту КПОО является продукция теплиц, топливный для потребления газ (биогаз состава: % об.: СН₄ – 65; СО₂ – 35), горячая вода. Сопутствующим сырьем для переработки служат растительные отходы теплиц, а также солома зерновых культур и коммунальные отходы жилищно-бытового сектора. В период сбора урожая овощной продукции и образования отходов растительной массы возможно параллельное использование вариантов 4 и 5, 6. Для хозяйств, специализирующихся на производстве зерновых культур, целесообразно параллельное использование вариантов 4 и 7, 8. Поскольку ряд растительных отходов (включая и вышеназванные) отличаются высокой долей содержания в сухом органическом веществе высокомолекулярных полисахаров – целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Подобные соединения сбраживаются очень медленно, либо вовсе не вовлекаются в процессы анаэробного газообразования (лигнин).

Выбор вариантов переработки в сельской местности должен ориентироваться и на сезонные колебания образующихся отходов. Наибольшие колебания имеют место в составе зеленой массы и значительно меньшие колебания – в объемах образования навоза. Однако в навозе могут присутствовать патогенные микроорганизмы, глисты, а также высокие концентрации азота аммонийного (свиной навоз). Поэтому, несмотря на высокие удобрительные свойства, подобные отходы должны подвергаться специальной обработке, в том числе и высокотемпературной.

Наиболее стабильными в круглогодичном образовании и по составу являются отходы промышленных очистных сооружений городов и промышленных поселков – избыточная биомасса активного ила и сырые осадки. Эти отходы, а также ТБО в настоящее время практически не используются, а только накапливаются, нанося окружающей среде значительный ущерб. Практически не используются отходы гидролизного производства и льнопереработки (костра, лигнин) [3].

Республика Беларусь располагает также значительными запасами сапропелей, которые могут быть вовлечены в эффективное производство энергоносителей по схеме КПОО. Существенным ограничивающим фактором является сбор, сортировка, транспортировка отходов. Очевидно, что переработка отходов в энергоносители и другие полезные продукты должна производиться максимально приближенно, с одной стороны, к месту образования и складирования отходов, а с другой – потребителю производимых при переработке отходов продуктов.

Таким образом, КПОО может стать составной частью, например, МПЗ (мусороперерабатывающего или мусоросортирующего завода) или «Эко-парка» – полигона по утилизации отходов территориально-

промышленного комплекса. Комплекс возможно использовать в сельской местности – агрогородках как санитарно-производственный объект.

Выбор варианта технического решения тесно связан с задачами региона, а технико-экономический показатель проекта – с производительностью. Рост мощности переработки отходов резко улучшает экономические показатели, в частности сроки окупаемости.

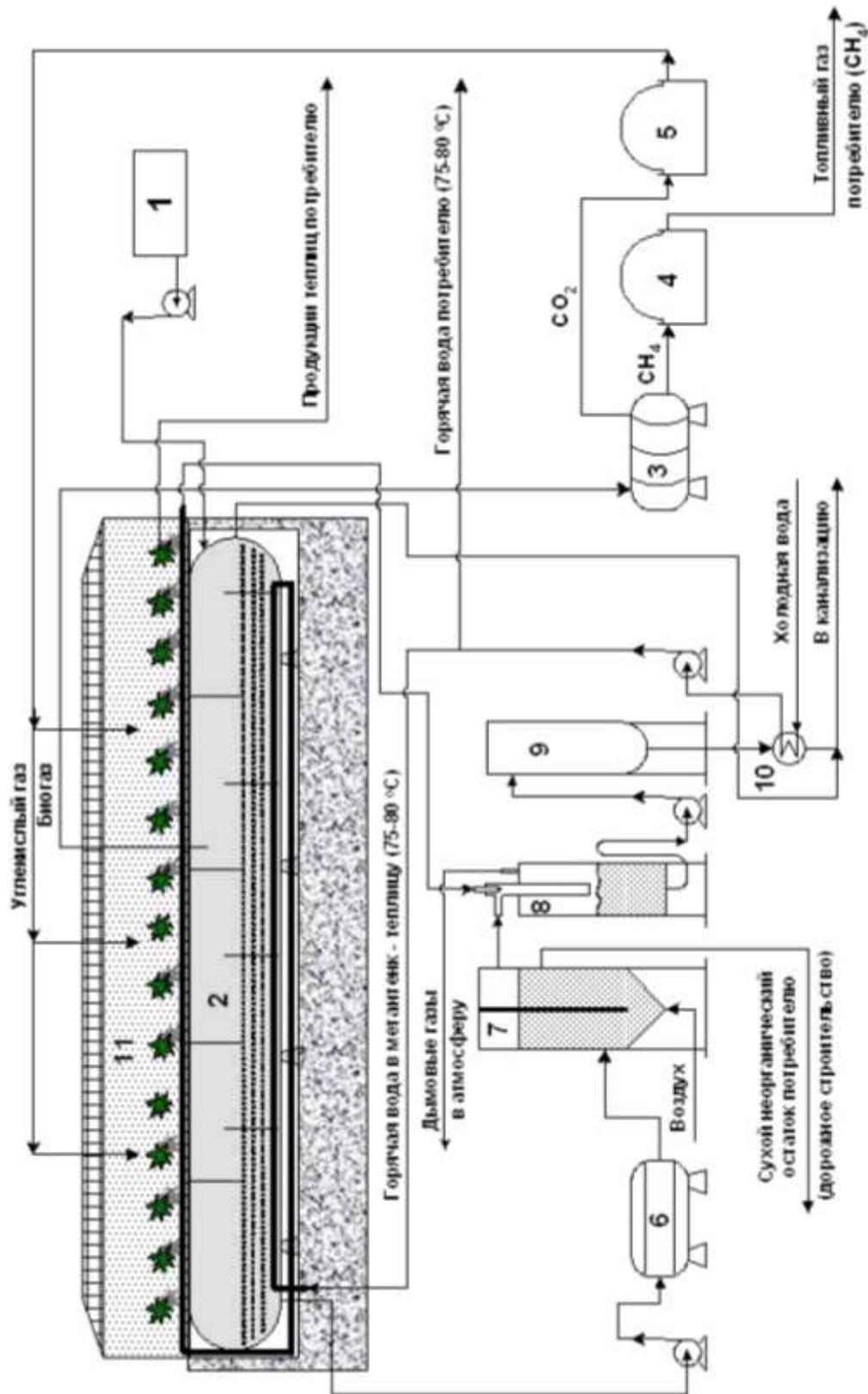


Рис. 3. Схема технологического оформления проекта комплекса малой производительности.

1 – узел подготовки отходов, 2 – метантенк, 3 – мембранный разделитель, 4 – газосепаратор CH_4 (топливный газ), 5 – газосепаратор CO_2 (углекислота), 6 – шиберный фильтр-пресс, 7 – реактор термодеструкции, 8 – струйный абсорбер, 9 – накопитель горячей воды, 10 – теплообменник, 11 – теплица

Опыт мировой практики строительства рассматриваемых установок показывает, что подобные проекты целесообразно строить в форме модулей в течение ряда лет, постепенно наращивая мощность и покрывая издержки производства за счет производимой прибыли, либо за счет государственной финансовой поддержке на всех этапах создания проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Р.А. Эффективная переработка органосодержащих отходов как аналогов твердого природного топлива // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2002. – Т. 1, № 2. – С. 44 – 48.
2. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень, 1999 / Под ред. В.Ф. Логинова. – Мн.: Минск-Типпроект, 2000. – 193 с.
3. Челноков А.А., Ющенко Л.Ф., Фридлянд М.Е. Экологические проблемы природопользования Беларуси: Справочное пособие. – Мн.: Минский экологический совет, 2001. – С. 14 – 22.
4. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень, 2004 / Под ред. В.Ф. Логинова. – Мн.: Минсктиппроект, 2005. – 285 с.
5. Гюнтер Л.И., Голдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 127 с.
6. Справочник химика. – М.: Россельхозиздат. – 1976. – 350 с.
7. Баратфи И., Рафаи П. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах / Пер. с венгер. Э. Шандора, А.И. Заленухина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 228 с.
8. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды: Учеб. пособие для студ. строит. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1978. – 268 с.
9. Компьютерное моделирование физических и биохимических процессов разложения органики на полигонах ТБО / Б.П. Рыбакин, Г.А. Магариу, Л.В. Бурцева, Т.Б. Верлан, Дж. Маффия // Управление отходами и сточными водами – как использовать финский опыт? Вэйс-Тэйк-2005: Сб. тр. межд. конгр. – Регистрация в НТЦ «Информрегистр». – Рег. № 032-05-00677. – М., 2005.
10. Рехн Райнер. Рентабельная переработка отходов // Управление отходами и сточными водами – как использовать финский опыт? Вэйс-Тэйк-2005: Докл. на семинаре, Москва, 2 июня 2005 г. – М. – С. 16.