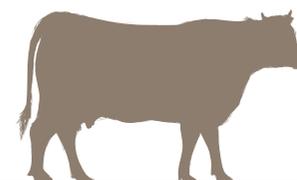


Пиролизная и биогазовая технологии для переработки навоза крупного рогатого скота



Виталий Шаблов,
директор
ООО «Завод аэроэнергопром»,
главный конструктор,
доктор философии в области
информационных технологий
(экологической безопасности)

Поголовье крупного рогатого скота в мире составляет около 1,5 млрд особей. Ежегодно жвачные животные выделяют в атмосферу огромное количество метана – около 10% всей антропогенной эмиссии, связанной со сжиганием ископаемых топлив. По своей парниковой способности метан в 28 раз превосходит углекислый газ и находится в атмосфере около 10 лет.

За одни сутки взрослая корова выделяет 30–50 кг навоза, то есть на планете его образуется около 60 млн т (около 1 млн железнодорожных вагонов). За год полуторамиллиардное поголовье производит в среднем 21 млрд 600 млн т навоза. Сравним этот объем с мировой добычей угля: 10 крупнейших стран-лидеров в 2019 г. добыли 7 млрд 212 млн т этого полезного ископаемого, что в 3 раза меньше, чем образуется навоза. Встает вопрос о возможностях применения последнего.

Наиболее традиционные способы – в качестве удобрения для повышения плодородно-

сти почв и основного компонента субстрата для биогазовых комплексов. В малоразвитых странах навоз используют как строительный материал и твердое печное топливо.

К сожалению, объем переработки отходов животноводства столь ничтожен, что эта проблема занимает одно из первых мест в списке вопросов, тормозящих развитие животноводства и негативно влияющих на экологическую обстановку в мире.

Технологий, способных энергоэффективно, прибыльно и экологически чисто переработать огромное количество образующегося коровьего навоза, до недавнего времени не существовало. На сегодня проблему пытаются решать с помощью биогазовых установок, предназначенных для утилизации отходов животноводства и пищевой промышленности (рис. 1). При этом на газопоршневых электростанциях происходит сжигание газа в двигателях с последующей выработкой электроэнергии, которая подается в сеть через отдельный счетчик учета и оплачивается государством по высокому тарифу. В основном на этом и зарабатывают биогазовые комплексы, все узлы и агрегаты которых потребляют электричество из государственных сетей по стандартному тарифу. Работа биогазового комплекса без дотаций государства убыточна.

Второй возможный источник дохода биогазовых комплексов – продажа соседним хозяйствам полученного жидкого удобрения. Но проблема здесь в том, что 40% субстрата до конца не перерабатывается бактериями, а температурный режим при мезофильном процессе (+37–40 °С) не способствует уничтоже-

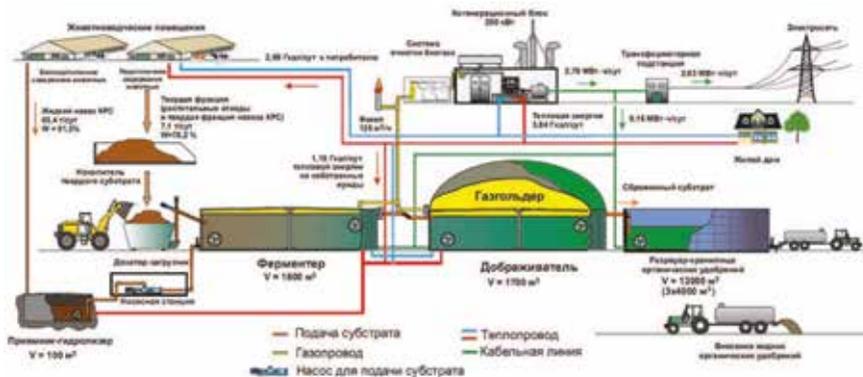


Рис. 1. Структурно-технологическая схема биогазового комплекса

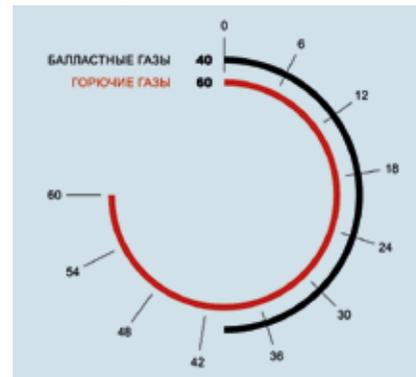


Рис. 2. Соотношение горючих и балластных газов биогазового комплекса

нию основных болезнетворных микроорганизмов. Данное обстоятельство препятствует сертификации в государственных органах отработанного субстрата в качестве удобрения.

Состав полученного биогаза можно условно разделить на энергетическую и балластную части (рис. 2). В состав первой входит метан CH_4 (около 60%), во второй части имеются:

- не горючая двуокись углерода CO_2 (до 38%);
- горючий сероводород H_2S , который желательно удалять из состава газа из-за негативного воздействия на газопоршневые станции и окружающую среду;
- горючий газ аммиак NH_3 (незначительное количество), имеющий достаточно высокую температуру воспламенения и негативно воздействующий на медные элементы двигателей.

Газ, полученный на биогазовых комплексах, обладает низкой теплотворной способностью – около 22 МДж/м³, поэтому на выработку 1 кВт его уходит значительно больше, чем природного (0,36–0,38 м³).

Следует отметить, что удельные капитальные затраты на 1 кВт установленной мощности составляют от 3 до 5 тыс. евро без учета монтажа и пусконаладочных работ, а срок окупаемости биогазовых комплексов колеблется от 5 до 13 лет. Малоэффективные и дорогостоящие, они все же внедряются, чтобы хоть как-то уменьшить негативное воздействие навоза на окружающую среду, предотвратить гибель сельхозугодий, рек и озер, сократить вредные испарения в атмосферу и количество стоков. Можно ли решить проблему энергоэффективно, экологически чисто и прибыльно?

Как сделать так, чтобы навоз из проблемы превратился в постоянно возобновляемый источник энергии и дохода для человечества? Научно-исследовательская инжиниринговая группа «Завод аэроэнергопром» предлагает инновационное техническое решение задачи.

Разработанный нами метод подразумевает высокотемпературный пиролиз специально подготовленного свежего навоза с высокой степенью влажности. В отличие от классических технологий при этом не предполагается сушка навоза, сопряженная с потерями большого количества газа, растворенного в навозной жиже.

Рассмотрим пиролизный комплекс контейнерного типа производительностью 30 т в сутки (рис. 3).

Навоз из коровников поступает в блок сепарации, где происходит отделение излишков воды. После этого, частично обезвоженный, он подается в навозоприемник для накопления, затем –

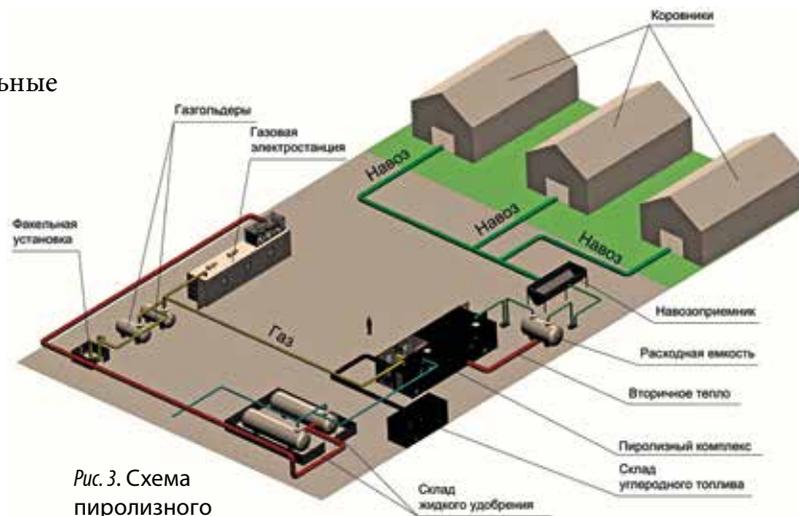


Рис. 3. Схема пиролизного комплекса

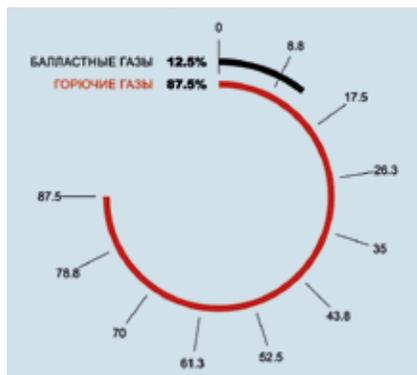


Рис. 4. Соотношение горючих и балластных газов пиролизного комплекса

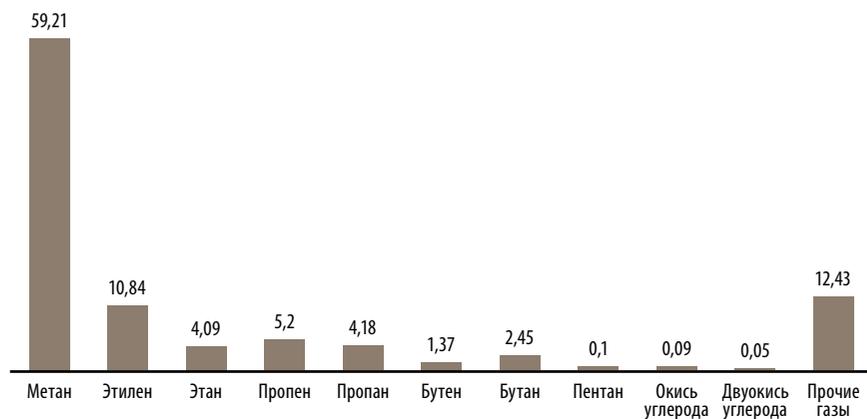


Рис. 5. Состав пиролизного газа, %

в промежуточную расходную емкость с системой подогрева и перемешивания, далее – в пиролизный реактор непрерывного типа работы. В реакторе при температуре до 1000 °С навоз разлагается на газ, пиролитическую воду и углеродный остаток. Далее пиролизный газ подвергается 100%-ной очистке и поступает в газгольдеры, а оттуда – на газопоршневую электростанцию. При необходимости его можно экологически чисто сжечь на факельной установке.

В его составе, как и у биогаза, имеются энергетическая и балластная части (рис. 4). Первую составляет смесь метана и других высококалорийных углеводородных газов, доля которых в общем объеме превышает 87%; балластная часть крайне мала (10–12%) (рис. 5). Газ, полученный в процессе пиролиза навоза, обладает высокой теплотворной способностью: 43,14 МДж/м³, что сопоставимо с параметрами природного газа.

Показатели	Фактическое значение
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,0
Водородный показатель pH	4,8
Взвешенные частицы, мг/дм ³	700
Азот аммонийный, мг/дм ³	221,7
Хлорид-ион, мг/дм ³	386,0
Сульфат-ион, мг/дм ³	9,1
Минерализация, г/л содержание неорганических солей – бикарбонаты, хлориды и сульфаты кальция, магния, калия и натрия	6,2
Фосфор общий, мг/дм ³	<0,025
Химическое потребление кислорода (ХПК), мг О ₂ /дм ³	35680

Таблица 1. Химический состав пиролитической воды

Жидкий продукт пиролиза навоза – вода, содержащая растворенные в ней органические и неорганические вещества, – поступает на склад накопления жидких удобрений, а затем потребителю (табл. 1). Химический анализ показал наличие в ней азотсодержащих соединений, минералов, неорганических солей.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что пиролитическая вода может являться товарным продуктом – жидким концентратом комплексного минерального удобрения для внесения в различные виды почв под сельскохозяйственные культуры. Следует отметить, что он по своему составу аналогичен жидкой фракции навоза, при этом в концентрате отсутствует патогенная микрофлора, гибнущая в процессе высокотемпературного пиролиза, а важнейшие питательные элементы (азот, калий, фосфор и т.д.) сохраняются. Это коренным образом отличает его от жидкой фракции навоза, которая, согласно санитарным правилам, должна пройти процедуру обезвреживания путем продолжительного (порядка 12 месяцев) компостирования. При этом предприятия должны вносить плату за негативное воздействие на окружающую среду.

Как показали результаты исследований, остаток, образующийся после переработки навоза, содержит 64,81% углерода, обладает высокой теплотворной способностью, сопоставимой с таковой у бурого угля и дров, и может быть использован в качестве сырья для твердотопливных котлов или с целью получения генераторных газов, основными компонентами которого являются водород и угарный газ. Твердая фракция остатка содержит также ряд полезных элементов (железо, фосфор, калий, титан, магний, марганец, кальций, кремний, натрий),

Технология пиролизной переработки свежего навоза КРС (Пульсар)	Переработка свежего навоза КРС на биогазовых комплексах (мезофильный процесс)
Цикл переработки	
1 час	10 дней (среднее значение)
Выработка газа, м ³	
80,83	40–50
Расход газа на поддержание техпроцесса, %	
15–20	до 20
Степень разложения биомассы, %	
100	40
Время получения газа после 1-го пуска оборудования	
2 ч	30–50 суток
Выход газа на 1 кг сухого вещества, м ³	
0,28	0,25–0,34
Теплота сгорания выработанного газа, МДж/м ³	
43,2	22,0
Расход газа на выработку 1 кВт/ч электроэнергии, м ³	
0,3	0,36–0,38
Биологическая опасность твердых остатков производства	
100%-ное обезвреживание углеродного остатка от патогенной флоры и гельминтов	Осадки не обезвреженные, содержат большое количество гельминтов
Требования к кислотности и наличию питательных веществ в субстрате	
Нет требований	Требуется следить за оптимальной кислотностью и достаточным количеством питательных веществ и микроэлементов
Требования к перерабатываемому сырью	
Нет требований	Тщательный подбор субстратов для обеспечения выхода биогазов
Требования к температурному режиму	
Широкий температурный диапазон, более + 600 °С	Узкий температурный диапазон, + 10 °С
Попутное производство питьевой воды из атмосферного воздуха, т/сут	
До 35 т	Невозможно
Проектные работы и капитальное строительство	
Не требуется (мобильное исполнение)	Требуется (капитальные строения)
Удельные капиталовложения на 1 кВт установленной мощности, евро	
1200–1900 (включая монтаж и пусконаладочные работы)	3000–5000 (без монтажа и пусконаладочных работ)

Таблица 2. Сравнительный анализ технологий переработки навоза. Из расчета на 1 т перерабатываемого свежего навоза

что позволяет применять его в качестве микроудобрения (аналогично древесной золе) с целью повышения продуктивности почв и минерального питания сельскохозяйственных культур.

Образующийся в процессе работы комплекса излишек тепла можно направлять на технологические и бытовые нужды исходя из потребностей заказчика.

Комплекс оборудования пиролизной переработки навоза может изготавливаться в двух вариантах: стационарном и мобильном (с высокой степенью готовности и быстрым наращиванием производительности). Для установки требуется только ровная площадка с твердым покрытием (табл. 2).

Результаты практических опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ говорят о том, что разработанная технология по всем показателям превосходит биогазовую. При этом процесс пиролиза занимает непродолжительное время и не требует значительных энергетических затрат. Производственный комплекс не нуждается в капитальном строении, не требует проектирования и работает на полном самообеспечении, а избыток тепла и электроэнергии поступает потребителю. Важно, что при этом не загрязняется воздух: в конструкции оборудования нет дымовой трубы, так как реактор нагревается за счет выработанной электроэнергии из полученного высококалорийного пиролизного газа. При переработке навоза отсутствуют отходы – образуются только полезные продукты: газ, твердое топливо, концентрат жидкого минерального удобрения, тепловая и электрическая энергия, питьевая вода, сконденсированная из атмосферного воздуха, а твердые остатки и концентрат жидкого удобрения на 100% обезвреживаются от патогенной микрофлоры. Монтаж и пусконаладочные работы комплекса занимают не более 7 дней.

В связи с тем, что навоз является постоянным возобновляемым источником сырья, на ООО «Завод аэроэнергопром» проводятся также исследования других его типов – свиного, конского, овечьего и куриного. Кроме того, научно-исследовательская инжиниринговая группа предприятия занимается разработкой технологии получения зеленого водорода, подпадающего под раздел «Возобновляемый водород» согласно Стратегии по развитию производства чистого водорода Clean Hydrogen Alliance, углерода и наноуглерода. ■