

УДК 621

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК: ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Асп. НГУЕН Тху Нга

Научный энергетический институт Вьетнамской академии наук и технологий

Анализ опубликованных работ отечественных и зарубежных ученых показывает, что возрастающий общемировой дефицит энергии, истощаемость ископаемого органического и

ядерного топлива, химическое и радиоактивное загрязнение окружающей среды являются основными аргументами в пользу всестороннего исследования и широкого внедрения

нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Источники энергии мож-

но классифицировать следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Структурная схема подразделения энергетических ресурсов

Запасы ископаемых энергоресурсов на нашей планете ограничены, и их потребление за последние несколько десятков лет на фоне предыдущей многовековой эволюции Земли является мощным тепловым взрывом, который оказывает влияние на глобальное изменение климата. Мировая тенденция потребления энергоресурсов показана на рис. 2 [1].

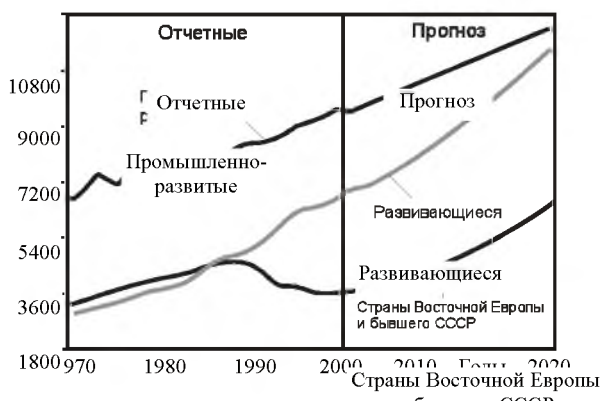


Рис. 2. Увеличение удельного потребления энергоресурсов в мире в 1970–2020 гг.

При всей очевидности обозначенных проблем уже сегодня можно отметить, что в большинстве развитых стран сложилась устойчивая система приоритетов относительно «удельного веса» конкретного нетрадиционного энергисточника, очередности его разработки и значимости для энергобаланса государств в целом, в том числе и для Вьетнама. Это относится и к

таким видам нетрадиционных источников энергии (НИЭ), как солнечная и биогазовая, особенно с учетом развития сельского хозяйства и необходимости бережного отношения к окружающей среде.

Вьетнам – страна с высокоразвитым аграрным сектором. Особенно велик удельный вес в нем животноводства и птицеводства. В стране насчитываются тысячи крупных и домашних животноводческих комплексов, на базе которых ежегодно образуются миллионы тонн отходов. Эти отходы (практически без их предварительной обработки) сбрасываются на поля как удобрения. Однако помимо пользы они одновременно наносят значительный экологический ущерб. Размываясь ливневыми водами, навоз с полей, а также необезвреженные воды предприятий животноводства, в особенности свиноводческих ферм, попадают в водоемы. Тем самым наносится большой ущерб флоре и фауне, загрязняются воды, в том числе и питьевая. Именно поэтому ученые и специалисты все больше внимания уделяют получению биогаза и использованию его как источника энергии.

Получение биогаза из отходов животноводства представляет собой довольно сложный процесс, а для его успешной реализации необходимо решить большое число технологических, технических и экономических вопросов.

Значительные трудности связаны с выбором технологии анаэробного сбраживания, режимами работы и обоснованием параметров технологического оборудования.

Сегодня биогазовые установки используются преимущественно на сельскохозяйственных предприятиях. Навоз и фекалии домашних животных доставляются сначала в выгребную яму, в которой твердые куски (составные части) измельчаются, для того чтобы появилась гомогенная смесь (субстрат). Эта масса на втором этапе накачивается в герметически изолированный и подогреваемый бродильный резервуар – ферментер, в котором анаэробные бактерии разлагают без доступа воздуха органические субстанции и производят газ. Перебродивший субстрат (смесь) снова накачивают в резервуар для жидкого навоза. Добыча биогаза во многом зависит от состава субстрата и длительности его нахождения в ферментере. Опыты показывают, что твердый и полужидкий навоз одной единицы крупного рогатого скота (≈ 500 кг весом) производит в день от 1,0 до 1,5 м³ биогаза.

Предприятие, имеющее 120 коров, может получать в день приблизительно до 100 м³ биогаза (нетто), что за год обеспечивает выработку энергии, которую можно получить приблизительно из 20–25 тыс. л нефти. От 20 до 40 % из этого используются, чтобы подогреть ферментер до оптимальных для бактерий (около 35 °С) температур. Безусловно, рентабельность биоустановки зависит от многих факторов, но она, в принципе, выше в том случае, если установка имеет достаточно большие размеры.

Кроме того, расчеты показывают экономическую выгодность извлечения сероводорода и переработки его в полезную продукцию. То же можно сказать и относительно углекислого газа, удельный вес которого составляет до 25 %. Извлекая его, можно организовать производство углекислоты, имеющей высокую ценность и используемой в пищевой промышленности, в первую очередь для приготовления сухого льда.

Экологический эффект производства энергии на базе биогаза не ограничивается только получением экологически чистого удобрения и корма. Произведенная энергия заменяет энергию, вырабатываемую на тепловых электро-

станциях и котельных, работающих на природном газе, мазуте и угле, тем самым улучшает экологическую обстановку в целом, т. е. при комплексном подходе использования биоустановок они могут быть экономичными и достаточно эффективными.

Известно, что для утилизации отходов животноводства перспективным направлением является технология переработки свиноводческих органосодержащих отходов в биоэнергетических установках способом анаэробного сбраживания, которая осуществляется в закрытых герметических емкостях (метантанках), решая во многом вопросы энерго- и ресурсосбережения, охраны окружающей среды. Процесс сбраживания навоза осуществляется при температуре от 30 до 60 °С, после которого возможно получение удобрений и биологического газа. Выделение газов зависит от состава навоза и режимов сбраживания. В настоящее время биогазовые установки, перерабатывающие в основном отходы животноводческих ферм, получили наиболее широкое распространение в таких странах, как ФРГ, Китай, Индия, Франция, Италия, Швейцария, Бельгия, Швеция.

Вообще анаэробное сбраживание является сложным многоступенчатым процессом, осуществляющимся при участии различных микроорганизмов и протекающим в определенной последовательности. Интенсификация процесса сбраживания позволяет увеличить продуктивность микроорганизмов. Для этого применяют физиологические и технологические методы (гранулообразование, седиментация, оптимальный температурный режим сбраживания, введение дополнительных стимуляторов роста микроорганизмов, использование селективной микрофлоры, интенсификация массообмена, увеличение концентрации микроорганизмов в объеме реактора, разделение процесса на этапы).

Безусловно, все эти этапы требуют тщательного изучения и совершенствования. Наиболее важные из них необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации оборудования с целью обеспечения его наилучшего функционирования и производства заданного количества биогаза – это анаэробная среда и температура.

Процесс брожения при производстве биогаза происходит под воздействием разнообраз-

ных бактерий, наиболее важными из которых являются анаэробные, выделяющие метан. Наличие кислорода угнетает жизнедеятельность этого вида бактерий или убивает их. Поэтому необходимо обеспечить анаэробные условия в среде брожения.

В то же время жизнедеятельность бактерий, вырабатывающих метан, во многом зависит от температуры. При простейших эксплуатационных условиях должна поддерживаться температура около 30–35 °С, так как производительность выработки газа заметно снижается при уменьшении температуры, а при температуре ниже 10 °С процесс выработки метана практически прекращается. График на рис. 3 [1] показывает влияние температуры на производительность выработки газа из навоза в течение 120 сут.

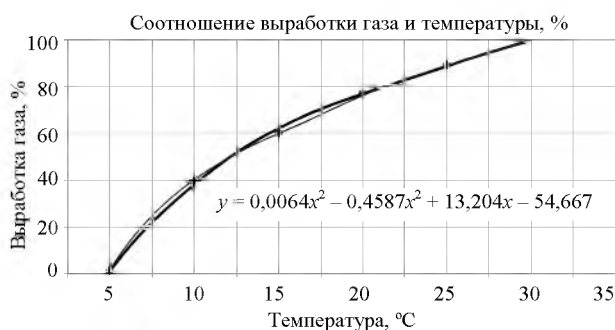


Рис. 3. Влияние температуры на количество произведенного газа

Сам процесс выхода биогаза показывает, что скорость истечения газа затрагивает сложные термодинамические процессы. Выход газа напрямую зависит от температуры сбраживания, гранулометрического состава фракций, концентрации органического вещества в исходном субстрате, влажности, кислотности среды процесса, скорости перемешивающих устройств.

Сегодня во всем мире развитие биогазовых технологий имеет три основных направления:

1) биогазовые установки с фиксированной крышкой емкости для гниения (преимущества – легкость монтажа, дешевизна, простота операций; недостатки – пропускают воду и газ, трудность при ремонте и поддержании в исправном состоянии);

2) биогазовые установки с подвижной крышкой емкости для гниения из бетона или стали

(преимущества такие же, как 1-м направлении; недостатки – высокая себестоимость, трудность при создании крышки, частые коррозии и порча, трудности при ремонте и поддержании в исправном состоянии);

3) биогазовые установки с емкостью для гниения из мягких пакетов (преимущества – самая низкая себестоимость, легкий вес пакетов; недостатки – пакеты быстро изнашиваются, легко рвутся от соприкосновения с острыми предметами, занимают много места, подходят для районов с низкими температурами).

В Китае и Индии получают быстрое развитие биогазовые технологии семейного масштаба. Например, в Китае собрано порядка 30 млн, в Индии – 2 млн биогазовых емкостей семейного масштаба (5–30 м³).

Вьетнам – страна, где быстро развивается семейное животноводство в агропромышленном комплексе. Миллионы животноводческих семейных хозяйств имеют по меньшей мере 8–10 свиней, многие дворы – 30–50 голов и более. В последнее время особенно быстрое развитие получило разведение крупного рогатого скота (буйволов, коров). В то же время отходы оказывают пагубное воздействие на окружающую среду. Животноводческие деревни сильно загрязняют воду и атмосферу.

Именно поэтому изучение широкого применения биогазовых технологий является главной задачей по решению проблемы загрязнения окружающей среды, осуществления поставок чистого и эффективного горючего в сельские районы Вьетнама. Что касается хозяйств, занимающихся животноводством в крупном масштабе (от 20–25 свиней), то у них имеется возможность для выработки электроэнергии.

Для производства биогаза используются биомасса, которая включает в себя растения, растущие и развивающиеся как на суше, так и под водой (деревья, травы, мхи, ряска, водоросли и т. д.), отходы сельскохозяйственного производства (солома, шелуха от зерен кофе, жмых, остатки от переработки сахарного тростника), отходы жизнедеятельности человека и животных (экскременты человека, навоз животных и птичий помет). Эти источники сырья могут быть классифицированы следующим образом:

- продукты сельского хозяйства (сельскохозяйственные культуры – кукуруза, пшеница, ячмень, овес и другие; маслосодержащие семена – кунжут, подсолнечник; культуры, содержащие растительный белок, – фасоль, другие бобовые; травы – лен, клевер, люцерна, суданская трава; капуста, сахарная свекла, деревья, артишок, избыточные корма для скота);

- отходы и органические отходы (растворы навоза, стебли нерисовых культур; отходы столовых и рынков; отходы желатина; старый хлеб и испорченное сырье для его производства; виноград, испорченное сырье для производства пива и вина – выжимки винограда, сахарного тростника, маниоки).

Вьетнам является развивающейся страной, сельское хозяйство которой только недавно перешло от самообеспечения к производству продукции для продажи, так как в последние годы сельское, лесное и рыбное хозяйство, а также производство продуктов питания достигли хороших темпов развития.

Например, Вьетнам занимает второе место в мире по экспорту риса, а также второе место по экспорту кофе и каучука и является лидером по экспорту перца. В стране происходит структурная перестройка экономики, когда внимание с растениеводства переносится на развитие животноводства. Стоимость продукции животноводства во Вьетнаме растет примерно на 8 % в год, что свидетельствует и об увеличении количества навоза и отходов производства, которые в свою очередь оказывают возрастающее влияние на загрязнение окружающей среды (табл. 1) [1].

Таблица 1

Наименование	Количество, млн голов	Отходы, млн т	Не утилизировано, %
Свиньи	26,8	24,165	80
Крупный рогатый скот	6,51	19,53	70
Молодняк	0,113	0,339	70
Буйволы	2,92	11,68	70
Птица			
Утки	62,6	0,575	90
Козы	1,52	0,912	80
Лошади	0,087	0,25	80
Всего		57,451	

Известно, что существуют две основные технологии получения энергии из биомассы –

тепловая и биохимическая. Биохимическая технология представляет собой процесс спиртового или анаэробного брожения биомассы с использованием различных видов микроорганизмов, в результате которого при обычной температуре и давлении получают различные виды газового топлива (биогаз) или жидкого топлива (этанол, метанол и др.). При тепловой технологии биомасса подвергается воздействию высоких температур, получаемых при сжигании угля, органического топлива, газа.

Технология переработки биомассы является типичной технологией производства биогаза. Биогаз – это разновидность газа, вырабатываемого из навоза и других органических веществ путем процесса брожения в анаэробных условиях. Микроорганизмы разлагают сырье, в результате чего получается газовая смесь, состоящая из метана (CH_4), на долю которого приходится около 50–75 %, двуокиси углерода (CO_2 , 25–50 %), воды (H_2O , 2–7 %), сероводорода (H_2S , от 20 до 20,000 ppm), азота (N_2 , <2 %), водорода (H_2 , <1 %) и кислорода (O_2 , <1 %). Теплотворность биогаза составляет около 6,4 kWh/Nm³ (природного – около 10 kWh/Nm³).

Биогаз был открыт в конце XVIII в. Его источниками являлись продукты анаэробного распада богатых углеродом органических веществ, находившихся в болотах, затопленных рисовых полях, водоемах, канализации, на городских свалках. Впервые идея получения метана (CH_4) путем анаэробного распада была предложена в 1930 г. в Бомбее (Индия). Сегодня биогаз нашел широкое применение во многих странах мира.

Процесс анаэробного распада под воздействием анаэробных бактерий делится на три фазы: гидролиза, окисления и образования метана (рис. 4) [1].

На фазе гидролиза большие органические молекулы под воздействием ферментов распадаются на более мелкие и простые, способные пройти через мембрану бактерий. Известны четыре вида бактерий, вырабатывающих метан. Все они очень чувствительны к температурному режиму. Наиболее благоприятная температура для бактерий, как уже отмечалось, составляет 30–35 °С.

На фазе окисления более сложные молекулы, такие как белки, жиры и углеводы, рас-

падают на кислоты, углерод CO_2 , водород H_2 , аммиак и др.

На фазе образования метана молекулы H_2 и CO_2 взаимодействуют с C , образуя газ метан

CH_4 , а в процессе расширяющегося кислотного и винного брожения дополнительно образуется еще больше CH_4 .

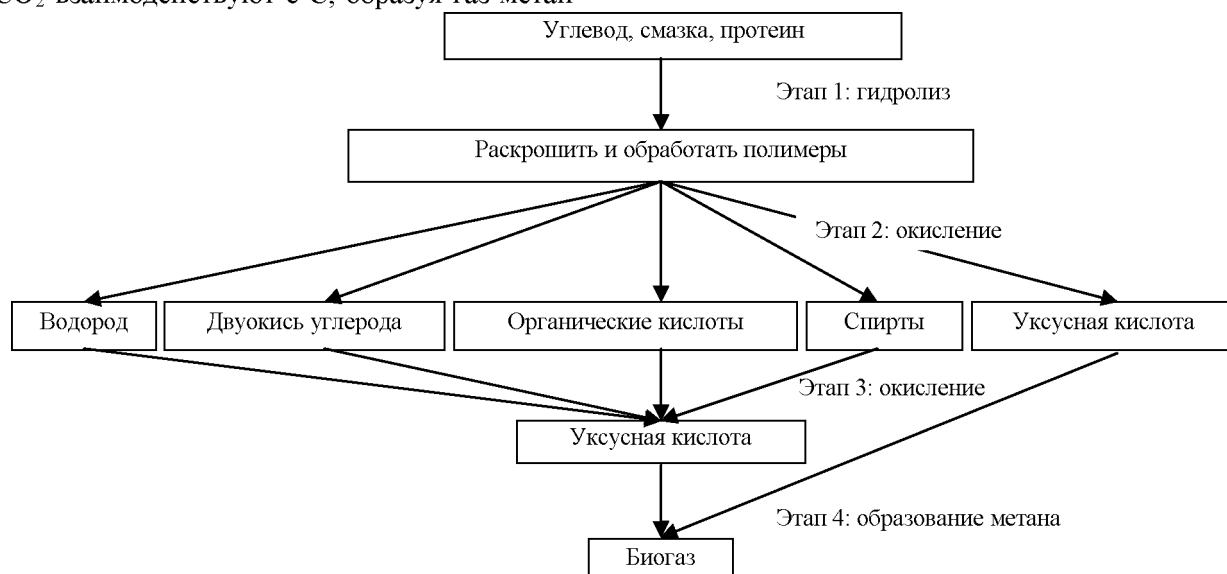


Рис. 4. Процесс получения биогаза

Микробное «пространство» представляет собой систему анаэробных бактерий, осуществляющих последовательную деструкцию органических соединений с образованием, главным образом, метана и углекислоты.

Сегодня Научный энергетический институт Вьетнама развивает самые прогрессивные биогазовые технологии на базе применения и совершенствования китайских и голландских биогазовых технологий семейного масштаба.

В принципе, все традиционные емкости объединяет следующее: они проектируются по принципу постоянного брожения комбинированной массы (в нижней части емкости находится жидкость, подвергающаяся брожению, в верхней – газ), имеют фиксированную крышку. Корпус емкости имеет форму вращающего-

ся столба, дно – дугообразную форму, резервуар для хранения газа – полусферу. Резервуар, регулирующий давление, имеет форму круглого вращающегося столба.

Система биогаза семейно-бытового типа объемом 10 м^3 , предлагаемая НЭИ ВАНТ (рис. 5) [1], имеет следующие особенности и технические показатели.

Резервуар для выработки биогаза сконструирован в соответствии с моделями непрерывного производства газа и представляет собой единую конструкцию: конусообразное дно – цилиндрическая средняя часть – полусферическая верхняя часть. Диаметр лопастей мешалки составляет 3000 мм, конусообразная часть имеет хорду 3000 мм и высоту 500 мм.

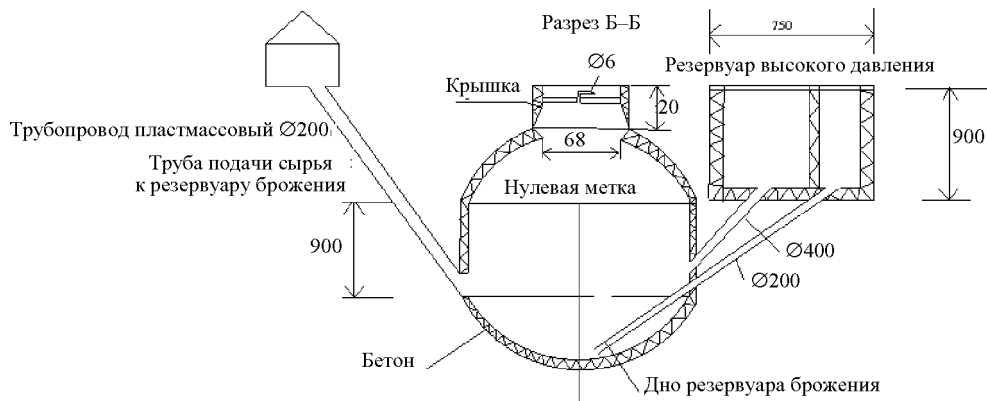


Рис. 5. Установка биогаза НЭИ ВАНТ

Входной узел соединяет резервуар производства биогаза с загонем для скота и туалетом бетонными трубами диаметром 400 мм. Трубопровод проложен под углом 60° к горизонту. Верхняя часть трубопровода закрывается герметичной бетонной крышкой. Выходной узел соединяет резервуар получения биогаза с камерой регулирования давления бетонной трубой диаметром 400 мм.

Резервуар брожения и камера сбора газа сконструированы исходя из принципа непрерывного производства газа, поэтому резервуар брожения и камера сбора находятся внутри резервуара производства биогаза.

Резервуар регулирования давления имеет форму цилиндра диаметром 1500 мм, высотой 900 мм. Особенностью конструкции является разделение резервуара регулирования давления на две отдельные камеры, меньшая камера предназначена для воздействия на сырье и соединяет трубопровод с дном резервуара брожения.

Выходной газопровод изготовлен из мягкой трубки диаметром 10 мм. Выходящий наружу конец проложен в земле внутри защитной пластмассовой трубы.

Материалы для сооружения резервуара применяются обычные: камень, желтый и черный песок, цемент Р400, строительный кирпич.

В зависимости от конкретных потребностей емкости подразделяются на три категории размеров: малые (от 5 до 150 м³), средние (от 150 до 1000 м³), большие (более нескольких тысяч м³). В настоящее время во Вьетнаме широко распространены малые биогазовые установки, а количество средних и больших установок незначительно. В связи с чем лишь очень не-

большом количестве мест биогаз производится в промышленных масштабах.

Здесь уместно отметить, что важной задачей для комплексной оценки энергетической эффективности работы биогазовой установки является определение необходимых параметров на каждом этапе технологического процесса, т. е. получение максимального коэффициента полезного действия $\eta_{\text{уст}}$ вырабатываемой энергии:

$$\eta_{\text{уст}} = (Q_{\text{вых}}/Q_{\text{пот}}) \cdot 100 \%,$$

где $Q_{\text{вых}}$ – «полезная» энергия на выходе из биогазовой установки; $Q_{\text{пот}}$ – потенциальная энергия, заключенная в биомассе.

Очевидно, увеличения «полезной» энергии на выходе можно достичь двумя путями: уменьшением затрат энергии на проведение самого технологического процесса (это можно достичь за счет применения, например, солнечной энергии как дополнительного источника) и за счет увеличения доли энергии, содержащейся непосредственно в биомассе. В целом это возможно при оптимальном выборе значений технологических и конструктивных факторов.

В предложенной НЭИ ВАНТ конструкции решен ряд вопросов, связанных с повышением $\eta_{\text{уст}}$.

Общая схема технологии с использованием биогаза (на примере семейного масштаба) представлена на рис. 6 [1].

В Научном энергетическом институте по описанной модели были созданы и прошли испытания более 100 емкостей в ряде населенных пунктов на Севере Вьетнама: в Ханое, провинциях Ханам и Хатэй.

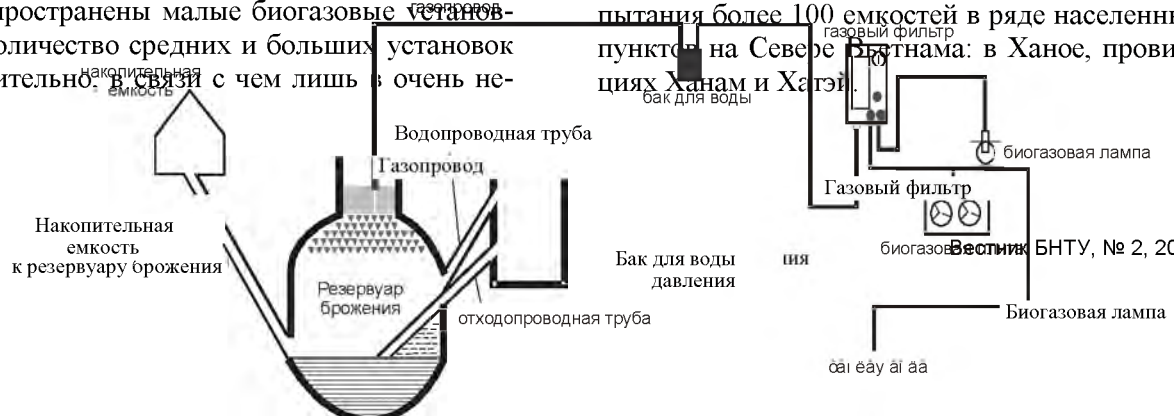


Рис. 6. Общая схема технологии с использованием биогаза

В то же время результаты испытаний установок для производства биогаза из отходов животноводческих комплексов подтвердили требование комплексной оценки их эффективности, так как их использование только для получения биогаза экономически невыгодно в сравнении с другими видами топлива (табл. 2) [2].

Резервуар брожения
Отходопроводная труба

Таблица 2

Выработка биогаза и энергетический эквивалент при сбраживании различных сельскохозяйственных культур и бытовых отходов

Вид сырья	Выход биогаза, м ³ с 1 т сухих веществ	Эквивалент, кг у. т.
Навоз крупного рогатого скота	200–400	160–320
Навоз свиней	До 600	До 480
Помет птицы	До 660	До 530
Ботва, травы	400–600	320–480
Солома злаковых	300–400	240–320
Коммунально-бытовые стоки городов и поселков	300–400	240–320
Твердые бытовые отходы городов и поселков городского типа	300–400	240–320
Отходы пищевой, мясомолочной, микробиологической промышленности	300–600	240–480
Сорняки	280	225

Основная составляющая эффекта состоит в том, что без дополнительных энергетических затрат можно получить экологически чистое высококачественное органическое удобрение и вследствие этого пропорционально сократить энергоемкое производство минеральных удобрений. Попутное применение биогазовых установок, как уже упоминалось, позволит существенно улучшить экологическую обстановку вблизи крупных ферм и животноводческих комплексов, а также на территориях, куда в настоящее время сбрасывают отходы животноводства, снизить затраты на экологические платежи.

Результаты испытаний установок, проведенных НЭИ Вьетнама, показали, что предлагаемые биогазовые емкости гораздо быстрее производят газ. Времени для производства газа с момента загрузки сырья до получения газа в достаточном количестве требуется на 50–60 % меньше по сравнению с имеющимися технологиями. В то же время количество микробов, не

переносящих воздушной среды, заметно увеличивается: с 10^5 – 10^6 до 10^7 – 10^8 . Такое количество очень благоприятно для получения газа, особенно количество микробов, создающих метан (это именно та группа микроорганизмов, которые производят газ). КПД производства

Биогазовая плита

газа на 30–50 % больше по сравнению со ста-

Теплая вода

рыми технологиями. Высокое давление обеспечивает потребности в энергии семейных хозяйств во вьетнамских деревнях, в условиях интенсивного развития агропромышленного комплекса данные технологии с использованием биогаза могут быть наиболее эффективными и рациональными.

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время около 80 % энергии в мире производится на основе сжигания ископаемого топлива – нефти, угля и газа, около 15 % – при сжигании древесины и растительных остатков и только 5 % – это энергия от возобновляемых источников. Ученые и специалисты должны сделать это соотношение обратным.

2. На сегодня нет универсального метода рационального производства биогаза, в основу которого был бы положен главный критерий максимальной $\eta_{уст}$, отражающий взаимосвязь между характеристиками исходного материала (отходов), скоростью метаногенеза, технологическими решениями анаэробного сбраживания, конструктивными параметрами отдельных узлов биогазовых установок и климатическими условиями.

3. Возобновляемые источники энергии могут способствовать улучшению экономической и экологической обстановки, снижению расходов на получение энергетических ресурсов, так как они автономны, эффективны и зачастую требуют небольших дополнительных ресурсов. Наиболее рациональны смешанные технологии, работающие на различных видах энергетического сырья, например энергии солнца и биогаза, так как использование солнечной энергии расширяет функциональные возможности биогазовой системы, обеспечивает работу в широком диапазоне температур, создавая необходи-