

УДК 631.86:661.7

DOI: 10.24412/1999-6837-2021-2-152-159

ПИРОЛИЗНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Анастасия Валериевна Спиридонова, Варвара Петровна Друзьянова

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Якутск

Аннотация. Агропромышленный комплекс – лидер среди производственных отраслей по количеству образующихся вредных веществ. Отходы, получаемые при ведении сельского хозяйства, наносят огромный вред экологии. Без очистки, утилизации, переработки они отравляют почву, водоемы, негативно влияют на атмосферу. При этом сельский «мусор» путем применения соответствующей технологии переработки может преобразоваться в сырье для удобрений, кормов или топлива. В настоящее время существуют различные технологии, позволяющие организовать малоотходное или безотходное производство [7].

На конец 2020 года количество крупного рогатого скота, лошадей, свиней, оленей по Республике Саха (Якутия) составляет 540 тыс. голов. Ежегодно они производят до 2 729 170 т навоза. В настоящее время отсутствуют технологии по переработке и обезвреживанию производимого навоза, наносится огромный вред хрупкой экологии Крайнего Севера. Известно, что 1 т свежего навоза поглощает за сутки до 5 т кислорода, при использовании в виде удобрения в почву вносится до 14 млн семян сорных растений и выбрасывается ощутимый объем углекислого газа и метана в атмосферу. Естественное перепревание навоза в условиях Якутии, происходит в течение 36–48 месяцев. Чтобы стабилизировать и в перспективе улучшить экологическую ситуацию в Республике Саха (Якутия), предлагается внедрить пиролизную технологию по обезвреживанию и утилизации твердого навоза животных с получением альтернативного топлива в виде пиролизного газа [3].

Ключевые слова: животноводство, твердый навоз, утилизация отходов, пиролизная технология, пиролизный газ, природный цеолит, моторное топливо.

PYROLYSIS TECHNOLOGY IN ANIMAL HUSBANDRY

Anastasia V. Spiridonova, Varvara P. Druzyanova

North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk

Abstract. The agro-industrial complex is a leader among industrial sectors in terms of the amount of harmful substances. Waste from agriculture is extremely harmful to the environment. Without cleaning, disposal, processing, they poison the soil, water bodies, negatively affect the atmosphere. At the same time, rural “garbage” can be transformed into raw materials for fertilizers, feed or fuel through the use of appropriate processing technology. Currently, there are various technologies that make it possible to organize low-waste or non-waste production [7].

At the end of 2020, the number of cattle, horses, pigs, deer in the Republic of Sakha (Yakutia) is 540 thousand heads. They produce up to 2,729,170 tons of manure annually. Currently, there are no technologies for processing and neutralizing the produced manure, and enormous damage is caused to the delicate ecology of the Far North. It is known that 1 ton of fresh manure absorbs up to 5 tons of oxygen per day; when used as a fertilizer, up to 14 million weed seeds are introduced into the soil and a significant amount of carbon dioxide and methane is emitted into the atmosphere. Natural overheating of manure in Yakutia takes place within 36 - 48 months. In order to stabilize and improve the ecological situation in the Republic of Sakha (Yakutia) in the future, it

is proposed to introduce pyrolysis technology for the neutralization and utilization of solid animal manure to obtain an alternative fuel in the form of pyrolysis gas [3].

Key words: livestock raising, solid manure, waste disposal, pyrolysis technology, pyrolysis gas, natural zeolite, motor fuel.

Введение. Целью данной работы является адаптация пиролизной технологии Глушкова под утилизацию твердых отходов животноводства для очистки окружа-

ющей среды от скоплений твердого навоза и производства альтернативного топлива в виде пирогаза.



Рис. 1. Кучи твердого навоза возле животноводческих ферм

В условиях существующего топливно-энергетического кризиса конечные пользователи энергоносителей становятся незащищенными от возможности прекращения поставок. В связи с этим в последнее время резко возрос интерес к альтернативным источникам энергии, характеризующимся доступностью и постоянной возобновляемостью [1, 2, 10].

Их можно разделить на две большие категории:

– с превращением энергии ветра, воды, солнца и др. в необходимую для человека энергию;

– путем переработки углерод-водород содержащего, а также органического сырья в энергоносители.

Первая категория характеризуется низкой эффективностью получения энергии, её высокой стоимостью и не универсальностью применения. Из источников второй категории наибольшей реальностью применения (с точки зрения наличия легкодоступности и возобновляемости ресурсов) обладают те, перерабатываемым

сырьем для которых является органическое сырьё [4, 12]. Для удовлетворения нужд потребителей данные технологии должны характеризоваться простотой конструкторских решений, полнотой и высокой скоростью переработки и малыми затратами на нее, что определяет их эффективность [5].

Методика. По договору о совместном сотрудничестве с Ижевским государственным техническим университетом в 2013 году СВФУ приобрел лабораторную пиролизную установку ГВА-1, разработанную к.т.н., доцентом Глушковым В.А. (патент №2225573 от 10 марта 2004 г.) (рис.2) [5-8,13,14].

Технические характеристики установки ГВА – 1: масса – 300 кг, габаритные размеры – 1590x1350x930 мм, максимальный объем загрузки – 0,08 м³, максимальная масса загрузки (исходя из плотности до 200 кг/м³) – 16 кг, максимальная производительность по газу – 40 м³/час, выработка газа – 1,7 м³ с 1 кг биомассы, теплотворная способность газа – 15–18 МДж/м³, мощность нагревателя – 6 кВт [5,11].

Эксперименты проводились в два этапа.

На первом этапе проведен цикл работ по ознакомлению с установкой Глушкова [5], которые выявили следующие недостатки [6, 7]:

1. Слабая герметичность терморектора.

2. Водяной конденсат обратно закачивается в терморектор.

3. Термоэлектрические нагреватели (ТЭНы) открыты, поэтому в процессе утилизации отходов происходит налипание продуктов сгорания на поверхности ТЭНов, что выводит их из строя.



Рис. 2. Пиролизная установка ГВА-1:

1 – терморектор, 2 – гидрозатвор, 3 – электронный блок контроля и управления, 4 – рама, 5 – газовое оборудование, 6 – датчики температуры [6, 7, 8]

Вышеназванные проблемы устранены следующим образом:

1. Герметизация улучшена добавлением к паронитовому листу, базальтовой ваты и асбестовой ленты.

2. Предусмотрели обратный клапан, исключающий возврат конденсата в терморектор (рис. 3).



Рис. 3. Обратный клапан

3. На ТЭНы вдеты трубы длиной 300 мм с диаметром 22 мм.

Последующие эксперименты проводили на установке с защитными кожухами на ТЭНах.

Эксперименты проводились при следующих параметрах окружающей среды и утилизируемого сырья: температура помещения 23°C; масса древесных опилок 3 кг; температура сырья 18°C.

Растительная биомасса – щепа древесная (сосна) загружается в терморектор 1, плотно привинчивается крышка, установка подключается к сети. В терморекторе устанавливается рабочая температура в 400°C. При переработке 3 кг древесных опилок выход газа происходит в среднем за 45 мин, а процесс пиролиза завершается за 112 мин.

Результаты и обсуждение. На фермах КРС образуется бесподстилочный навоз, который агрессивнее влияет на экологию, чем подстилочный. В стойловый период свежий навоз формируется в брикеты и стаскивается в близлежащие к ферме открытые местности [9].

За жаркое короткое лето поверхность куч навоза высушивается под воздействием воздуха, а через 4–5 лет оттаивает и перепревает основная куча. Таким образом, кучи навозов максимально перепревают минимум за 6–7 лет в естественных условиях. За этот период происходит размножение и рассеивание семян сорных растений, возбудителей различных болезней, и наносится непоправимый урон экологии Севера.

В настоящее время ввиду локализаций ферм в населенных пунктах пейзаж большинства сел имеет весьма удручающий вид – деревни опоясаны массами твердого навоза, которые в период дождей превращаются в зловонное месиво.

В наших исследованиях утилизируется по пиролизной технологии твердый навоз влажностью от 5–25%.

Химический состав коровьего навоза следующий :

1. Азот. Его соединения способствует ускорению роста растений.

2. Калий – нужен растениям для продуктивного использования воды, увеличения движения соков в них, развития мощной корневой системы. Особенно необходим калий растениям в начале образования цветков и роста плодов. Калий делает растения устойчивее к засухе, заморозкам, грибковым заболеваниям и вредителям.

3. Кальций нейтрализует кислоты органики, превращая их в форму, которая не наносит вреда растениям.

4. Фосфор нужен растениям для образования завязи плодов.

5. Магний непосредственно участвует в выработке энергии роста организма растений, его урожайности и плодоношении.

Плотность навоза – это соотношение веса искомого материала к его занимаемому объему (Н/м³). В зависимости от влажности навоза определение плотностей проводятся по следующей формуле:

$$\rho = \gamma / g \quad (1)$$

где ρ – плотность, γ – удельный вес, g – ускорение свободного падения, которое в обычных случаях является константой и равняется 9,81 м/с².

Чтобы перевести этот показатель в систему СИ, то есть в кг/м³, необходимо его умножить на 0,102.

По данным различных исследователей, теплотворная способность 1 кг навоза составляет примерно 3,2 кВт*ч, т.е. тонна навоза дает 1600 кВт*ч тепловой энергии.

Выходные параметры по эксперименту следующие:

– потребление электроэнергии

$$W = 3 - 3,3 \text{ кВт}$$

– объем полученного газа

$$V_{\text{п.г.}} = 0,103 - 0,105 \text{ м}^3$$

– масса отработавшего сырья

$$m_{\text{отр.с.}} = 0,500 - 0,55 \text{ кг}$$

– масса не сгоревшего сырья

$$m_{\text{ост.}} = 1,95 - 2$$

– время эксперимента

$$T_{\text{экс}} = 112 \text{ мин}$$

– потенциальный выход газа

$$m_{\text{пот}} = 2,3 - 2,5 \text{ м}^3$$

– «Потерянный» объем газа

$$V_{\text{потер.}} = 1,15 - 1,25 \text{ м}^3$$

Изучены математические модели [1–5] пиролизного процесса. Обнаружено, что подавляющее количество моделей описывают химический процесс, протекающий в тех или иных реакторах. На сегодняшний день только модель Глуш-

кова В. А. описывает технологический процесс пиролиза.

Модель процесса пиролиза в установленном режиме по Глушкову имеет вид:

$$Q(m) = 605,7 \cdot m \quad (2)$$

где Q – в Ватт-минутах, m – в граммах.

При переводе мин в секунды, уравнение (1) примет следующий вид:

$$Q(m) = 0,16 \cdot m \quad (3)$$

Следует отметить, что данная модель учитывает только массу утилизируемого сырья, а такой значимый параметр, как влажность, не берется во внимание. В связи с этим предлагаем внести коррективы.

Известно, что масса – это физическая величина, которая является мерой инертности тела:

$$m = \rho V \quad (4)$$

Сырье примем за твердое сыпучее вещество и для определения его объема будем пользоваться формулой для прямого кругового цилиндра:

$$V = \pi r^2 h \quad (5)$$

Плотность вещества с учетом влажности определяется по формуле:

$$\rho = \frac{\omega_{\text{ос}} \cdot 1000}{\omega} \quad (6)$$

Тогда, с учетом (3) и (4) выражений уравнение (2) примет следующий вид:

$$Q(m) = 0,16 \left(\frac{\omega_{\text{ос}} \cdot 1000}{\omega} \right) \cdot \pi r^2 h \quad (7)$$

Таким образом, получена модель процесса пиролиза для установки Глушкова, позволяющая рассчитывать требуемый расход энергии на перерабатываемую массу сырья с учетом ее объема и влажности.

Однако, модель (7) не учитывает такие важные факторы процесса как период выдержки сырья в реакторе и размеры измельченной фракции сырья. Поэтому наши дальнейшие исследования по модернизации модели пиролиза будут продолжены.

Выводы. Таким образом, пиролизная технология позволит:

- эффективно утилизировать твердый навоз влажностью 15-20% в альтернативный источник энергии;

- очистить экологию от органических отходов;

- по-новому взглянуть на возможные пути выхода из энергетического кризиса

и открывает научно-техническое направление создания экологически безопасных энергетических установок пиролизической переработки органического сырья.

За год в Республике Саха (Якутия) образуется 2 729 178 т навоза животных, который в настоящее время никак не обезвреживается и не утилизируется. Путем пиролиза из данного объема навоза можно получить топливного газа в объеме 6 822 500 м³ в год, что равноценно 5 799 125 т условного топлива (каменного угля).

Список литературы

1. Глушков, В. А. Анализ проблемы поиска альтернативы нефти и природному газу / В. А. Глушков. – Москва ; Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2007. – 200 с.

2. Глушков, В. А. Возможности энергоресурсосбережения для ИЖГТУ при использовании биомассы / В. А. Глушков // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства : сб. материалов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета. 15–17 ноября 2011 г. – Ижевск : Изд-во ИЖГТУ, 2012. – С. 241–243.

3. Глушков, В. А. Результаты испытаний экспериментальной пиролизной установки / В. А. Глушков, В. П. Тарануха, А. Ю. Печенкин // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства: сб. материалов VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 50-летию приборостроительного факультета. 15–17 ноября 2011 г. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2012. – С. 244–245.
4. Глушков, В. А. Технологические режимы получения энергоносителей путем переработки биомассы / В. А. Глушков, В. П. Тарануха, А. Ю. Печенкин, И. Г. Русяк. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. – 112 с.
5. Глушков, В. А. Экспериментальная установка для пиролизической переработки биомассы с повышенной энергетической отдачей / В. А. Глушков, В. П. Тарануха, А. Ю. Печенкин // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. декабрь 2010 г. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2011. – С. 29–35.
6. Друзьянова, В. П. Возможности утилизации отходов автомобильного транспорта с использованием пиролизной установки ГВА-1 / В. П. Друзьянова, А. В. Спиридонова // Перспективы социально-эконом. развития села РС(Я) : сб. статей по матер. респ. научно-практ. конф. – Якутск : Изд. «Алаас», 2015. – 22 с.
7. Друзьянова, В. П. Пиролизный способ получения альтернативного моторного топлива / В. П. Друзьянова, А. В. Спиридонова // Вестник ИрГСХА. - 2018. – № 84. – С. 150–156.
8. Друзьянова, В. П. Пиролизная технология в автотранспортной отрасли Якутии / В. П. Друзьянова, М. Я. Рожина, В. А. Спиридонова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2016. – № 2. – С. 17–20.
9. Друзьянова, В. П. Ресурсосберегающая технология утилизации бесподстилочного навоза крупного рогатого скота в условиях Республики Саха (Якутия), автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.20.01 / Друзьянова Варвара Петровна; Восточно-Сибирский госуд. ун-т технологий и управления.– Улан-Удэ, 2004. – 24 с.
10. Зайцев, Ю. В. Опыт создания СПГ установок различного назначения / Ю. В. Зайцев, Г. К. Лавренченко // Технические газы. – 2007. – № 2. – С. 48 – 55.
11. Ибрагимов, Ч. Ш. Научные основы и практические задачи химической кибернетики / Ч. Ш. Ибрагимов, А. И. Бабаев. – Баку: Изд. АГНА, 2015. – С. 235–238.
12. Лавренченко, Г.К. Вклад профессора А.П. Клименко и его школы в создание научных основ углеводородных энерготехнологий / Г.К. Лавренченко // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. – 2014. – №1(49). – С. 34 – 39.
13. Патент РФ А 1 2225573 RU 7 F23G5/027. Установка для пиролиза углеводородных отходов / Глушков В. А. – 2002120394/03; заявл. 29.07.2002 // Изобретения. Полезные модели. – 2004. – № 7.
14. Шахтактинский, Т. Н. Системный анализ процессов разделения и очистки продуктов нефтехимии /Т. Н. Шахтактинский, Ч Ш. Ибрагимов А. И. Бабаев. – Баку : Изд-во «Элм», 2006. – С. 120–124.

References

1. Glushkov, V. A. Analiz problemy poiska al'ternativy nefti i prirodnomu gazu (Analysis of the problem of finding alternatives to oil and natural gas), Moskva, Izhevsk, NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2007, 200 p.
2. Glushkov, V. A. Vozmozhnosti energoresursosberezheniya dlya IzhGTU pri ispol'zovanii biomassy (Possibilities of energy saving for ISTU when using biomass), Priborostroyeniye v XXI veke. Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva, sb. materialov VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 50-letiyu priborostroitel'nogo fakul'teta, 15–17 noyabrya 2011 g., Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2012, PP. 241–243.
3. Glushkov, V. A., Taranukha, V.P., Pechenkin, A.YU. Rezul'taty ispytaniy eksperimental'noy piroliznoy ustanovki (Test results of the experimental pyrolysis plant), Priborostroyeniye v XXI veke. Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva, sb. materialov VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 50-letiyu priborostroitel'nogo fakul'teta, 15–17 noyabrya 2011 g., Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2012, PP. 244–245.
4. Glushkov, V. A., Taranukha, V. P., Pechenkin, A. YU., Rusyak, I. G. Tekhnologicheskiye rezhimy polucheniya energonositeley putem pererabotki biomassy (Technological modes of obtaining energy carriers by processing biomass), Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2011, 112 p.
5. Glushkov, V. A., Taranukha, V. P., Pechenkin A. YU. Eksperimental'naya ustanovka dlya piroliticheskoy pererabotki biomassy s povyshennoy energeticheskoy otdachey (Experimental installation for pyrolytic processing of biomass with increased energy efficiency), Priborostroyeniye v XXI veke. Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva, materialy VI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, dekabr' 2010 g., Izhevsk, Izd-vo IzhGTU, 2011, PP. 29–35.
6. Druzyanova, V. P., Spiridonova, A. V. Vozmozhnosti utilizatsii otkhodov avtomobil'nogo transporta s ispol'zovaniyem piroliznoy ustanovki GVA-1 (The possibilities of recycling road transport waste using the GVA-1 pyrolysis unit), Perspektivy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya sela RS(YA) Sbornik statey po materialam resp. nauchno-prakt. konf., Yakutsk, Izd. «Alaas», 2015, 22 p.
7. Druzyanova, V. P., Spiridonova, A.V. Piroliznyy sposob polucheniya al'ternativnogo motornogo topliva (Pyrolysis method for producing alternative motor fuel), Vestnik IrGSKHA, 2018, No 84, PP. 150-156.
8. Druzyanova, V.P., Rozhina, M.YA., Spiridonova, V.A. Piroliznaya tekhnologiya v avtotransportnoy otrasli Yakutii (Pyrolysis technology in the motor transport industry of Yakutia), Nauchno-tekhnicheskyy vestnik Povolzh'ya, 2016, No 2, PP. 17-20.
9. Druzyanova, V. P. Resursosberegayushchaya tekhnologiya utilizatsii bespodstilochnogo navoza krupnogo rogatogo skota v usloviyakh Respubliki Sakha (Yakutiya), avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 (Resource-saving technology for the utilization of bedless cattle manure in the Republic of Sakha (Yakutia), Abstract of Ph.D. thesis: 05.20.01) / Druzyanova Varvara Petrovna, Vostochno-Sibirskiy gosudarstvennyy universitet tekhnologiy i upravleniya, Ulan-Ude, 2004, 24 p.

10. Zaytsev, Yu. V., Lavrenchenko, G.K. Opyt sozdaniya SPG ustanovok razlichnogo naznacheniya (Experience in creating LNG plants for various purposes), Tekhnicheskiye gazy, 2007, No 2, PP. 48 - 55.

11. Ibragimov, Ch.Sh., Babayev, A.I. Nauchnyye osnovy i prakticheskiye zadachi khimicheskoy kibernetiki (Scientific foundations and practical tasks of chemical cybernetics), Baku, izd. AGNA, 2015, PP. 235-238.

12. Lavrenchenko, G. K. Vklad professora A.P. Klimenko i yego shkoly v sozdaniye nauchnykh osnov uglevodorodnykh energotekhnologiy (Contribution of Professor A.P. Klimenko and his schools in the creation of scientific foundations of hydrocarbon energy technologies), AvtoGazoZapravochnyy Kompleks + Al'ternativnoye toplivo, 2014, No 1(49), PP. 34 - 39.

13. Patent RF A 1 2225573 RU 7 F23G5/027. Ustanovka dlya piroliza uglevodorodnykh otkhodov (RF patent A 1 2225573 RU 7 F23G5 / 027. Installation for pyrolysis of hydrocarbon waste), Glushkov V. A., 2002120394/03; zayavl. 29.07.2002., Izobreteniya. Poleznye modeli, 2004, No 7.

14. Shakhtakhtinskiy, T. N., Ibragimov, Ch. Sh., Babayev, A. I., Sistemnyy analiz protsessov razdeleniya i oчитки produktov neftekhimii (System analysis of processes of separation and purification of petrochemical products), Baku, izd-vo «Elm», 2006, PP. 120–124.

© Друзьянова В. П., Спиридонова А. В., 2021

Информация об авторах

Друзьянова Варвара Петровна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, Якутск, ул. Красильникова 13, e-mail: druzvar@mail.ru.

Спиридонова Анастасия Валериевна, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса автодорожного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 677000, Россия, Якутск, ул. Красильникова 13, e-mail: savadf0706@mail.ru.

Information about the authors

Varvara P. Druzianova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Car Operation and Service, Faculty of Road Construction; North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov; 13, Krasilnikova str., Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia; 677000; e-mail: druzvar@mail.ru;

Anastasia V. Spiridonova, Senior Lecturer of the Department of Car Operation and Service, Faculty of Road Construction, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov; 13, Krasilnikova str., Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia; 677000; e-mail: savadf0706@mail.ru.