

ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ЖИДКОГО СУБСТРАТА ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА С ЦЕЛЬЮ ИНТЕНСИФИКАЦИИ МЕТАНООБРАЗОВАНИЯ

А.В. Крутов,

доцент каф. электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

С.С. Нефедов,

аспирант каф. электротехнологии БГАТУ

В работе рассматривается влияние электрообработки жидкого субстрата птичьего помета на выход биогаза в биогазовых установках.

Ключевые слова: птичий помет, аммиак, электролиз с мембраной, католит, анолит.

The impacts of electro processing of liquid substrate of bird droppings with a view to its further use for the production of biogas are examined in the article.

Keywords: bird droppings, ammonia, electrolysis with membrane, catholyte, anolyte.

Введение

В сельскохозяйственном производстве проблема эффективной утилизации отходов птицефабрик является наиболее сложной и актуальной. Возрастающие объемы отходов птицеводческих предприятий, содержащие органические вещества, минеральные соли и биогенные элементы, представляют собой сильнодействующие загрязнители окружающей среды [1]. От одной птицефабрики средней мощности (400 тыс. кур-несушек или 10 млн. цыплят-бройлеров) ежегодно образуется соответственно до 35 и 83 тыс. т пометной массы и свыше 400 тыс. м³ сточных вод с повышенной концентрацией вредных веществ. Усредненная норма выхода помета (с учетом усушки до 65–70 % в год) на одну особь взрослой птицы составляет 62 кг и молодняка – 42 кг соответственно. По статистическим данным, на территории Беларуси имеется более 67 птицеводческих хозяйств с общим поголовьем птицы 31,2 млн в хозяйствах всех категорий. Объем образовавшегося куриного помета (данные за 2014 г.) составил свыше 1,56 млн т [2].

Птичий помет является опасным, в связи с возможным содержанием возбудителей инфекционных и инвазионных заболеваний, экзотоксикантов (тяжелых металлов, пестицидов, микотоксинов и т.д.), медикаментозных препаратов. Почва после внесения подобных органических отходов в значительной степени обсеменяется микрофлорой и семенами сорных растений. Отходы птицеводства служат потенциальным источником яиц гельминтов, плесеней, грибов. Помимо возбудителей особо опасных болезней для животных и человека, помет непрерывно обогащается условно-патогенными микроорганизмами (кишечной палочкой, стрептококками, синегнойной палочкой и другими), которые по своей природе обладают высо-

кой резистентностью к внешним факторам и лекарственным средствам [3, 4].

В то же время отходы содержат питательные вещества для растений, такие как азот, фосфор, калий, микроэлементы, и после определенной подготовки могут использоваться для питания сельскохозяйственных культур в качестве удобрения [4]. В связи с этим, разработка низкочастотных, высокоэффективных технологий, обеспечивающих гарантированное производство обеззараженных и обезвреженных органических удобрений на основе помета, имеет важное значение в вопросах повышения плодородия почвы, охраны природы, сохранения здоровья животных, повышения безопасности труда обслуживающего персонала, здоровья населения и рентабельности производства.

Одно из основных направлений утилизации отходов птицеводства – производство биогаза. Технология с использованием биогазовых установок является наиболее перспективной технологией переработки жидких органических отходов [5-7]. При этом решается сразу несколько задач: сбора и переработки отходов птицефабрик с улавливанием и нейтрализацией таких вредоносных биогазов, как аммиак и сероводород, получение экологически чистых удобрений, а также метана – универсального газообразного топлива. Однако существует ряд проблем, препятствующих эффективному использованию птичьего помета для производства метана, в частности, наличие в помете веществ-ингибиторов, замедляющих процесс метанообразования (высокая концентрация в помете азота, сероводорода, летучих жирных кислот и др.).

Цель данного исследования – повысить выход биогаза при использовании птичьего помета в биогазовых установках путем его предварительной электрообработки.

Основная часть

В зависимости от технологии выращивания и содержания птицы помет может быть подстилочным и бесподстилочным. Выход помета у взрослой птицы в зависимости от ее вида представлен в таблице 1 [8].

Таблица 1. Средний суточный выход помета с одной взрослой птицы

Вид птицы	Выход помета с одной птицы в сутки, г
Куры – несушки	170...190
Куры мясных пород	280...300
Бройлеры	240...250
Индейки	420...450
Гуси	490...600
Утки	250...420

Состав помета зависит от вида и возраста птицы, типа кормления и содержания (табл. 2) [8].

Как отмечалось выше, наиболее эффективный способ утилизации птичьего помета – его переработка в биологических реакторах с целью получения метана. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на метановое брожение, является соотношение углерода и азота в перерабатываемом сырье. Оно должно соответствовать диапазону значений отношения масс углерода к азоту от 10 до 16 [2, 5]. Если соотношение углерода к азоту чрезмерно велико, то недостаток азота будет служить фактором, ограничивающим процесс метанового брожения. Если же это соотношение слишком мало, то образуется такое большое количество аммиака, что он становится токсичным для бактерий.

Это происходит в связи с тем, что при увеличении концентрации углерода в биологическом сырье, связанном с повышенным содержанием углеводов относительно белковой массы, снижается количество аммонийного азота, что ведет к увеличению концентраций водорода и углекислого газа, и уменьшению доли метана. Как следствие, повышается кислотность среды, ведущая к снижению активности метагенной составляющей анаэробного биоценоза. В свою очередь, увеличение белковых масс ведет к избыточному выде-

лению аммиака, что также ухудшает условия жизнедеятельности метанообразующих микроорганизмов.

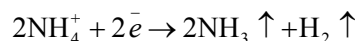
В птичьем помете азот присутствует в форме органического и аммиачного азота, причем, доля каждого зависит от степени разложения органического вещества. При определенных условиях биологические системы соединения органического азота могут быть преобразованы в аммонийный азот и окислы (до нитритного и нитратного азота).

Аммиак NH_3 препятствует процессу брожения уже при концентрации в пределах 0,15-0,7 г/л и нарушает биологию процесса метанообразования [5, 9], т.е. выступает как ингибитор. Высокое содержание аммиака и сероводорода в помете обуславливает его использование совместно с другими видами навоза (чаще всего с навозом КРС) или органическими отходами (солома, торф, опилки, помет с подстилкой, лигнин, копра и другие). На практике масса помета в субстрате не превышает 45% от общей биомассы.

Для снижения концентрации азота в птичьем помете авторами использован электрохимический способ обработки, сущность которого заключается в пропускании через жидкий субстрат на основе птичьего помета постоянного электрического тока.

Химический состав водного раствора птичьего помета характеризуется присутствием в нем в основном катионов NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ и анионов NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , Cl^- . Ионы аммония NH_4^+ находятся в растворе в состоянии диссоциативного равновесия с молекулами аммиака NH_3 .

При пропускании через субстрат постоянного электрического тока у катода происходит процесс восстановления ионов аммония:



Образующийся в результате химической реакции аммиак выделяется из раствора в виде пузырьков газа, и может быть отведен из камеры обработки системой трубопроводов, что позволит уменьшить его концентрацию в помете и оптимизировать соотношение углерода и азота.

Исследования по электрообработке субстрата на основе птичьего помета проводились авторами в

Таблица 2. Средний состав различных видов птичьего помета

Вид птичьего помета	Влажность, %	Содержание, кг/т						
		органическое вещество	N _{общ}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄
Куриный	55	350	16,0	15,0	8,0	24,0	7,0	4,0
Утиный	70	250	7,0	9,0	6,0	11,0	2,0	3,0
Гусиный	75	230	5,0	5,0	9,0	8,0	2,0	9,0
Индюшачий	75	230	7,0	6,0	5,0	5,0	2,0	3,0
Смешанный	60	320	15,0	14,0	7,0	17,0	5,0	3,0
Подстилочный	40	450	20,0	16,5	8,5	18,0	6,0	3,5
Полужидкий	85	110	9,0	9,0	3,0	9,0	4,0	2,0
Жидкий	95	40	3,0	2,5	1,0	4,0	1,2	0,7
Стоки	98	18	1,2	1,1	0,6	1,8	0,5	0,3

электролизере на модельных растворах с монополярным включением электродов с межэлектродной полупроницаемой перегородкой и без нее.

В первом случае напряженность электрического поля в опытах варьировалась в диапазоне 440...860 В/м, плотность тока, в зависимости от материала и размера электродов, находилась в пределах 700...1820 А/м². Водородный показатель рН исходного жидкого субстрата составлял 7,0. Использовались электроды из стали Ст3, нержавеющей стали 12Х18Н10Т, алюминия АМц, а также из меди М1к. Результаты электрохимической обработки субстрата с полупроницаемой межэлектродной перегородкой приведены в таблице 3.

Установлено, что содержание NH₄⁺ и NH₃ зависит от величины рН жидкого помета. В кислой среде наблюдается подавление диссоциации ионов аммония с образованием газообразного аммиака и его растворение в водном растворе, наблюдается уменьшение содержания азота в субстрате после электрообработки в 1,3-1,5 раза. На рисунке 1 приведены зависимо-

сти водородного показателя рН католита и анолита, полученного из жидкого субстрата птичьего помета, от количества пропущенного электричества через обрабатываемый раствор с использованием различных электродов и режимов электрообработки.

Содержание азота в пробах, величина водородного показателя рН определялись в аналитической лаборатории БГАТУ по стандартным методикам.

В опытах по электрообработке жидкого субстрата без полупроницаемой межэлектродной перегородки существенных результатов по снижению азота не установлено. Хотя ионный состав исследуемого образца менялся. Здесь, по мнению авторов, происходит растворение аммиака до выхода его пузырьков на поверхность.

Во втором случае напряженность электрического поля варьировалась в пределах $E=2,0...0,75$ кВ/м, плотность тока изменялась в пределах $j=220...270$ А/м² для электродов из стали Ст3 и алюминия АМцМ. При использовании электродов из меди М1М плотность тока поддерживалась в пределах $j=500...510$ А/м².

Таблица 3. Результаты электрообработки жидкого субстрата птичьего помета

Наименование образца	Исходное содержание массовой доли азота в пробе, %	Параметры электрообработки		Водородный показатель рН пробы после обработки	Содержание массовой доли азота в пробе после обработки, %
		Напряженность электрического поля, В/м	Плотность тока, А/м ²		
Проба 1 (электроды из нерж. стали)	0,38	560... 450	937,5	Катодит рН=10,0	0,39
				Анолит рН=5,0	0,28
Проба 2 (электроды из алюм.)	0,43	500... 440	700,0	Катодит рН=10,5	0,41
				Анолит рН=4,5	0,29
Проба 3 (электроды из меди)	0,42	590... 860	1820,0	Катодит рН=11,0	0,37
				Анолит рН=5,0	0,38
Проба 4 (электроды из Ст3)	0,38	600... 860	1270,0	Катодит рН=9,0	0,33
				Анолит рН=5,0	0,36

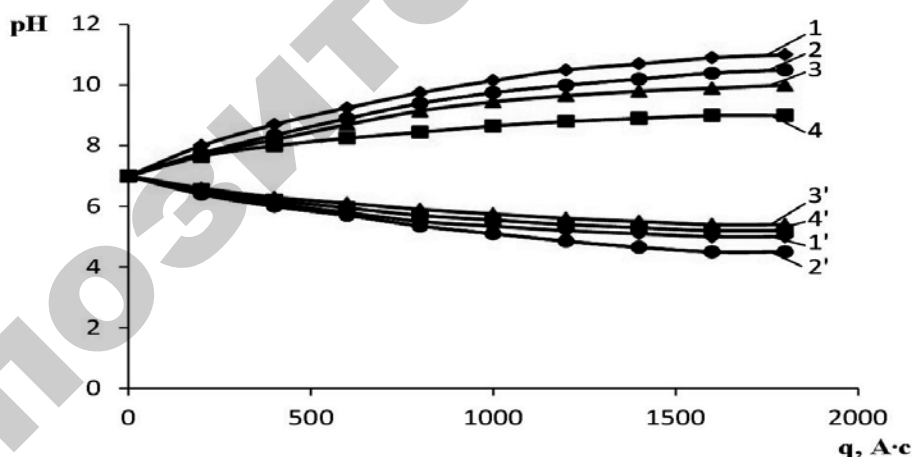


Рисунок 1. Зависимость водородного показателя субстрата от количества электричества: 1, 2, 3, 4 – католит; 1', 2', 3', 4' – анолит;

- ◆ – электроды из меди ($E=590...860$ В/м; $j=1820$ А/м²);
- ▲ – электроды из алюминия ($E=440...500$ В/м; $j=700$ А/м²);
- – электроды из нержавеющей стали ($E=450...560$ В/м; $j=937,5$ А/м²);
- – электроды из стали ($E=600...860$ В/м; $j=1200$ А/м²).

После обработки в электролизере происходит уменьшение ионов аммония и других веществ. На рис. 2 и 3 приведены кривые изменения катионов аммония и анионов фосфора в зависимости от длительности электролиза с применением электродов из стали Ст3, как наиболее экономичных. Под цифрой 1 обозначены зависимости, полученные при плотности тока 140 A/m^2 , 2 – при плотности 270 A/m^2 .

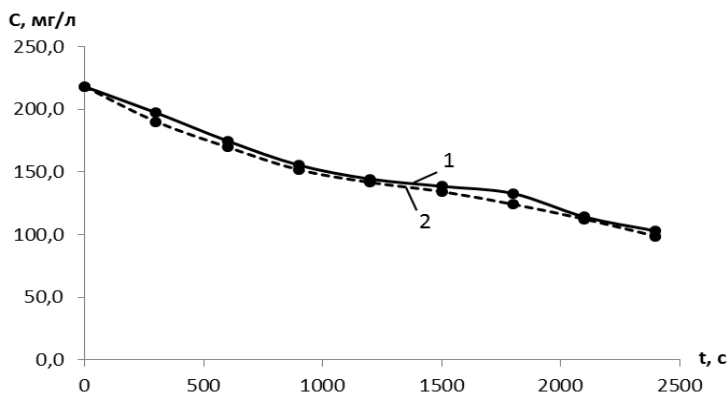


Рисунок 2. Изменение концентрации ионов аммония после электролиза (Fe-электроды)

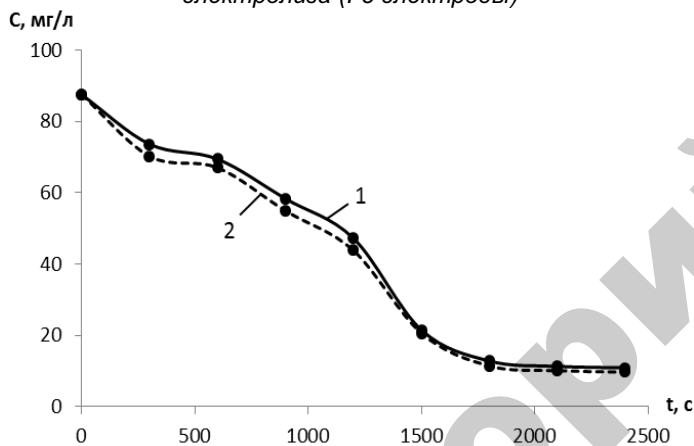


Рисунок 3. Изменение концентрации фосфат-ионов после электролиза (Fe-электроды)

ности электролиза с применением электродов из стали Ст3, как наиболее экономичных. Под цифрой 1 обозначены зависимости, полученные при плотности тока 140 A/m^2 , 2 – при плотности 270 A/m^2 .

Как видно из результатов эксперимента, увеличение плотности тока более 140 A/m^2 не приводит к существенному снижению загрязнений, а сопровождается значительным большим расходом энергии, ускоренным разложением анода. Авторами публикации установлен наибольший эффект по снижению ионов аммония при использовании медных электродов, однако это существенно влияет на окупаемость электролиза в силу значительно большей стоимости меди по сравнению со сталью Ст3.

Электрообработка жидкого субстрата птичьего помета с применением межэлектродной диафрагмы сопровождалась нагревом раствора до $50-55^\circ\text{C}$. Если использовать полученный католиз (рН 10) для получения биогаза, это будет соответствовать термофильному режиму брожения ($50-60^\circ\text{C}$). В источниках [9, 10] описаны условия эффективного сбраживания отходов птицеводства именно в термофильном режиме.

При сбраживании птичьего помета в этом режиме выделяется $0,5-0,8 \text{ м}^3$ биогаза с 1 кг сухого органического вещества. При этом большой выход отмечается при щелочной стадии анаэробного брожения по сравнению с кислой.

Проведенные исследования показали, что для электрообработки жидкого субстрата на основе птичьего помета с целью уменьшения азота следует использовать метод электролиза с межэлектродной диафрагмой, и основную массу сырья производить в катодной камере. Применение данного метода позволяет интенсифицировать процесс выделения газообразного аммиака из субстрата и минимизировать удельные затраты электрической энергии при получении биогаза.

Закключение

Обзор и анализ литературных источников по теме исследования показал необходимость разработки высокоэффективного, простого, малоотходного или безотходного способа переработки отходов птицеводства, который позволил бы решить проблемы использования птичьего помета для производства биогаза и удобрений, создать условия для получения дополнительного дохода от эффективной его утилизации. Проведенные исследования позволили утверждать, что для решения обозначенных задач, с технической, экономической и экологической точки зрения, возможно использовать электрохимический способ обработки жидкого птичьего помета, в частности метод электролиза с межэлектродной диафрагмой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева, Р.П. Эффективность применения отходов в условиях агроценозов юга Западной Сибири: монография / Р.П. Воробьева, А.С. Давыдов. – Барнаул: Алтайский ун-т, 2002. – 330 с.
2. Максимова, С.Л. Утилизация отходов птицеводства при помощи биообъектов / С.Л. Максимова // Экология на предприятии, 2014. – №12. – С. 42.
3. Анализ методов обеззараживания животноводческих стоков и помета с ферм / И.Л. Болоцкий [и др.] // Ветеринария Кубани, 2008. – №3. – С.17.
4. Опыт безопасного использования органических отходов животноводства и птицеводства / Л.П. Овцова [и др]. – Москва: ФГНУ «Росинформ-агротех», 2006. – 60 с.
5. Дабаева, М. Д. Эколого-безопасная утилизация отходов: монография / М. Д. Дабаева, И. И. Федоров, А. И. Куликов; Бурят. гос. с.-х. академия. – Улан-Удэ: БГСХА, 2001. – 94 с.
6. Сидоренко, О.Д. Биологические технологии

утилизации отходов животноводства: учебн. пос. / О.Д. Сидоренко, Е.В. Черданцев. – Москва: МСХА, 2001. – 74 с.

7. Кривых, Л. И. Утилизация отходов с животноводческих комплексов и ферм: практическое руководство / Л. И. Кривых. – Барнаул: РИО АИПКРС АПК, 2005. – 40 с.

8. Босак, В.Н. Птичий помет. Состав и применение / В.Н. Босак // Наше сельское хозяйство, 2015. – №9. – С. 42.

9. Марченко, В.И. Интенсификация анаэробного сбраживания птичьего помета / В.И. Марченко // Техника в сельском хозяйстве, 2011. – №6. – С.27-29.

10. Марченко, В.И. Биогазовая установка для сбраживания отходов птицеводства / В.И. Марченко, В.И. Гребенник, И.А. Севостьянов // Сельский механизатор, 2015. – №1. – С. 24-25.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 28.09.2015

УДК 628.16.087+631.171:636.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ

В. Н. Штепа,

*доцент каф. высшей математики и информационных технологий Полесского гос. университета,
канд. техн. наук, доцент*

В статье проанализированы недостатки существующих систем водоочистки, описаны ключевые загрязнители сточных вод промышленных и коммунальных предприятий, агропромышленного комплекса. Разработаны методика и оборудование экспериментально-аналитических исследований водоочистки с учетом действия возмущающих факторов. Проведены экспериментально-аналитические исследования согласно предложенной методике.

Ключевые слова: экологическая безопасность, очистка сточных вод, нейронная сеть, экспериментальные исследования, ресурсоэффективность

The paper analyzes the shortcomings of the existing water treatment systems; the key pollutants of industrial and wastewater utilities are analyzed; Techniques and equipment of experimental analyzes of water treatment taking into account the action of perturbing factors have been developed; Experimental and analytical studies are carried out according to the proposed method.

Keywords: ecological safety, sewage, treatment neural network, experimental studies, resource efficiency

Введение

Доля агропромышленного комплекса (АПК) в водопотреблении наряду с электроэнергетикой и жилищно-коммунальным сектором – одна из наиболее значимых и составляет около 20-25 % [1]. Основными источниками загрязнения открытых водоемов являются недостаточно очищенные сточные воды промышленных (65 %) и коммунальных предприятий (18-20 %), а также агропромышленный комплекс (16-20 %) [2].

Самые опасные загрязнители – нефтепродукты, соли тяжелых металлов, фенолы и биогенные вещества, последние два характерны для сточных вод агропромышленных предприятий [3].

Мощными водопотребителями в АПК являются свинокомплексы, птицеводческие комплексы, перерабатывающие предприятия – ими сбрасывается около 40-50 % полученной воды, в зависимости от технологии производства и региона.

Во многих случаях сбросы таких предприятий не проходят даже элементарной очистки [4], при том, что большинство из них попадают в водоемы рыбохозяйственного назначения. Именно поэтому проблема разработки эффективных методов и технологий очистки сточных вод агропромышленных объек-

тов является актуальной, что подтверждено в задачах Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года (п. 3.3 «Природно-ресурсный потенциал»), где указано, что для обеспечения главных направлений природоохранной политики, необходимо повсеместно внедрять прогрессивные энерго- и ресурсосберегающие технологические процессы, обеспечивающие снижение удельного водопотребления и объема отведения сточных вод, переход на мало- и безводные технологии производства.

Сложность создания эффективных систем очистки сточных вод вызвана рядом причин [5], из которых можно выделить следующие:

– многофакторность и нелинейность характеристик параметров, влияющих на процессы изменения свойств водных растворов и разной природой загрязнителей (биологической, химической, физической);

– возможность неконтролируемого изменения качества воды даже в процессе очистки: реагенты и загрязнители при разных условиях могут синтезировать новые соединения, которые более опасны, чем первоначальные загрязнители;

– отсутствие необходимой номенклатуры измерительных приборов, способных работать в режиме