

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ

И.Н. Афтени

aftenivan@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены разработанные технологии получения биогаза в агропромышленных комплексах и направления его использования. Проведен анализ проблем и перспектив использования биогаза в качестве энергоносителя для двигателей внутреннего сгорания. Представлена технология получения биогаза из отходов сельскохозяйственного производства. Приведены физико-химические свойства биогаза. Предложена концепция выработки электроэнергии из биогаза в агропромышленных комплексах России.

Ключевые слова

Дизельный двигатель, дизельное топливо, биогаз, дизель-генераторная установка

Поступила в редакцию 05.06.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Современное развитие альтернативных энергоносителей позволяет с уверенностью утверждать, что надежное энергообеспечение при отказе от добычи ископаемых энергоресурсов возможно. Но это обобщенное утверждение в большей степени можно отнести к объектам Аграрно-промышленного комплекса (АПК), так как этот сектор экономики наделен неограниченными запасами перспективных энергоносителей — таких, как биодизельное топливо или «Биодизель» (растительного, ацидогенезного и пиролизного происхождения) и биогаз (метаногенезного, ацидолизного и пиролизного происхождения). Проведенный анализ мирового рынка указывает, что с ростом уровня технологического развития и уменьшением добычи ископаемых углеводородов возрастет цена на нефть и газ, что еще больше привлечет внимания к технологиям, ориентированным на эффективность и возобновляемость. Анализ перспектив использования возобновляемых источников энергии показывает, что к 2020 г. уровень замещения добываемых углеводородов возобновляемыми источниками должен составить около 10 % общего объема вырабатываемых нефтепродуктов (рис. 1) [1].

В процессе перехода на новые энергоносители цена на электрическую энергию несколько возрастет, но в то же время снизится затратная составляющая энергетических компаний вследствие уменьшения затрат, связанных с приобретением дорогих, но не возобновляемых энергоносителей. Практически треть мировой энергии уже в следующем десятилетии будет производиться из биомассы. В объем которой согласно данным ГОСТ Р 52808–2007, ГОСТ Р 53790–2010 входят:

- органические отходы жизнедеятельности и остатки кормового стола (жидкий навоз, помет, зерновые остатки, масличные и сахаросодержащие культуры);

- твердые бытовые и промышленные отходы (ТБПО) (подвергаемые термолитической, пиролизной утилизации);
- древесные отходы и отходы деревоперерабатывающих и озеленительно-муниципальных служб (подвергаемые газификации и термолитической утилизации);
- отходы пищевой промышленности, сельскохозяйственных объектов и др.

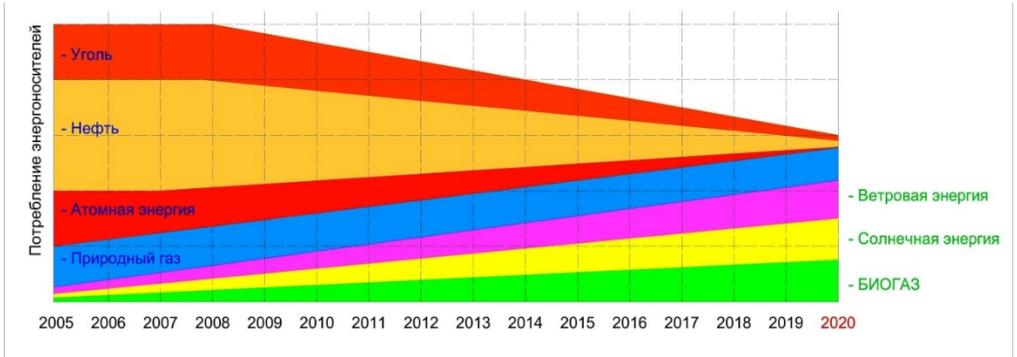


Рис. 1. Приоритетное направление развития энергетической отрасли в России до 2020 г.

Сухую биомассу можно сразу использовать в качестве печного топлива, но это экономически, экологически неэффективно и нецелесообразно, более инновационным и экономически привлекательным является метод получения биогаза путем метаногенеза, ацидолиза, пиролиза (рис. 2) [2].



Рис. 2. Методы использования биомассы в сельском хозяйстве

Биогаз образуется в процессе аэробного (ацидолизного) или анаэробного (метаногенезного) разложения органических соединений. В природе эти процессы протекают в заболоченных водоемах (выделение болотного газа), плавнях и на берегах лесных прудов и озер. На объектах АПК данный процесс протекает в специализированных устройствах (ферментерах-метатанках), которые подби-

раются с учетом достижения точно выверенной технологии. Для этого предлагается набор различного технологического оборудования:

- накопительная емкость либо лагуна для сбора биомассы;
- ферментатор-метатанк, в котором осуществляется процесс анаэробного сбраживания (метаногенез);
- системы очистки и накопления биогаза (биометана) (газгольдер-ресивер низкого давления);
- система использования полученного биогаза, которая может содержать дизельный двигатель, соединенный с генератором электрического тока и утилизатором теплоты отработавших газов) (рис. 3) [3, 4].

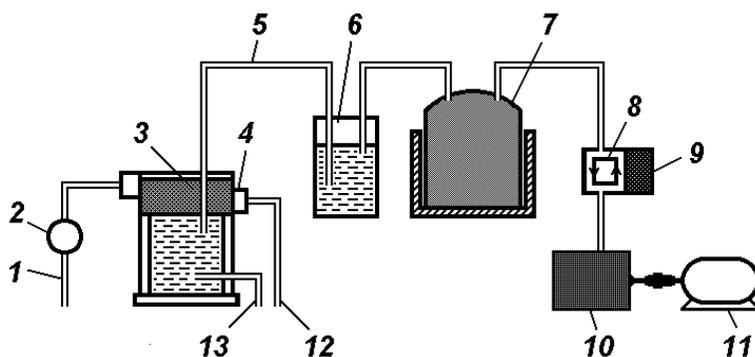


Рис. 3. Технологическая схема биогазовой установки для переработки отходов и использования биогаза:

- 1 — трубопровод для подачи отходов с фермы; 2 — фекальный насос; 3 — биореактор; 4 — приемник жидких удобрений; 5 — трубопровод с биогазом; 6 — сепаратор; 7 — газгольдер; 8 — устройство подачи биогаза; 9 — криогенная система; 10 — двигатель внутреннего сгорания; 11 — электрогенератор; 12 — трубопровод для отвода жидких удобрений; 13 — трубопровод для отвода удобрений на поля

Использование биотоплива позволяет не только заместить нефтяные моторные топлива альтернативными, но и улучшить показатели токсичности отработавших газов (ОГ) — как правило, отмечается заметное уменьшение эмиссии токсичных компонентов ОГ. В первую очередь это относится к дымности ОГ и выбросам других продуктов неполного сгорания топлива, которые при использовании биотоплива снижаются в 1,5–2 раза [3]. Кроме того, использование биогаза способствует снижению парникового эффекта за счет обеспечения экологически замкнутой энергетической системы.

Таким образом, для решения локальных энергетических проблем перспективным является использование биогаза, который может быть получен из различных отходов (отходы сельскохозяйственного производства, бытовые стоки, промышленные и бытовые отходы) [4, 5]. Одна из наиболее значительных сырьевых баз для производства биогаза обеспечивается сельскохозяйственным производством. Биогаз можно получать из навоза различных животных и птиц, а также из отходов растениеводства [6–9]. Наиболее рациональным представля-

ется использование для производства биогаза навоза крупного рогатого скота. Это объясняется возможностью комплексного использования отходов сельскохозяйственного производства — из навоза в биореакторах можно получить биогаз и одновременно ценные органические удобрения, позволяющие заметно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Принцип работы всех биогазовых установок схож: после сбора и подготовки сырья, заключающейся в доведении его до нужной влажности в специальной емкости, оно подается в реактор, где создаются условия для оптимизации процесса переработки сырья. Продуктами переработки являются биогаз и биоудобрения, которые в дальнейшем используются по назначению [10, 11]. При использовании в качестве сырьевой базы навоза крупного рогатого скота отпадает необходимость в организации специального сельскохозяйственного производства для получения такого сырья. Необходима лишь подготовка уже имеющегося сырья.

Получение биогаза — это своеобразный биологический вариант гелиоэнергетики. Согласно расчетам, в среднем 1 т навоза или другой биомассы, подвергаемой метановому сбраживанию, дает около 500 м³ биогаза, что эквивалентно 350 л бензина. Иногда приводятся отдельные цифры выхода биогаза из навоза (200...300 м³) и растительной биомассы (300...630 м³). Однако в целом выход биогаза из различного сырья значительно колеблется (рис. 4) [12]. Поэтому принято понятие так называемой «животной единицы», эквивалентной ежедневному производству биогаза около 1,5 м³. Такое количество биогаза может произвести одна взрослая корова, пять телят, шесть свиней, 250 кур.

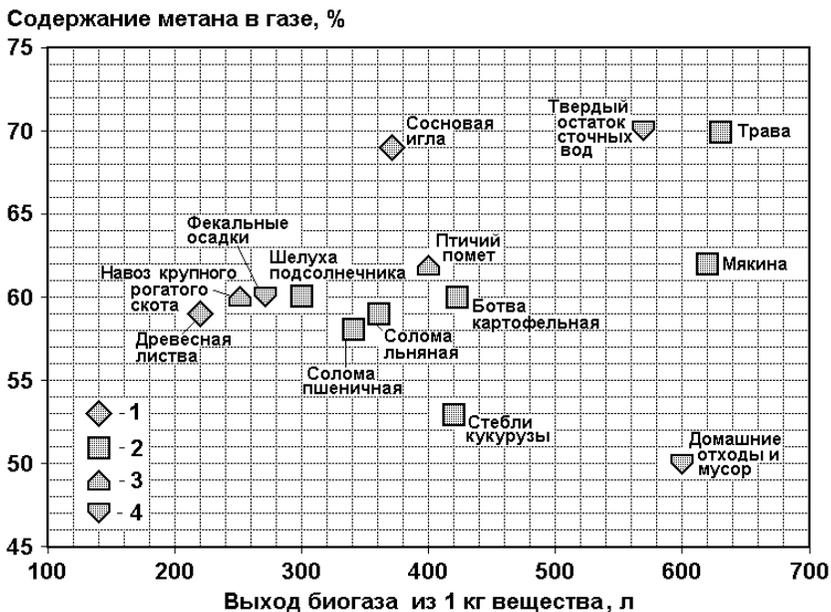


Рис. 4. Эффективность переработки различных отходов:

1 — отходы лесопромышленного комплекса; 2 — отходы растениеводства; 3 — отходы животноводства и птицеводства; 4 — твердые бытовые отходы и канализационные стоки

На рис. 4 видно, что основным компонентом биогаза является метан (его содержание в биогазе может достигать 80 % по объему). Содержание другого значимого компонента биогаза — углекислого газа — обычно не превышает 35 %. Остальные компоненты содержатся в биогазе в незначительных количествах (как правило, не более 1 %). Некоторые физико-химические свойства биогаза приведены в таблице [10]. Там же для сравнения представлены свойства нефтяного дизельного топлива и природного газа (метана).

Физико-химические свойства дизельного топлива, биогаза и природного газа

Физико-химические свойства	Топливо		
	Дизельное топливо	Биогаз	Природный газ
Формула состава	$C_{16,2}H_{28,5}$ (условная)	CH_4 (60...80 % по объему) CO_2 (15...35 %) H_2 (до 1 %) H_2S (до 1 %) Примеси (3 %)	CH_4 (95 % по объему) CO_2 (1 %) N_2 (до 1,5 %) Примеси (2,5 %)
Плотность при 20 °С, кг/ м ³	830	1,16*	0,809
Теплота сгорания, МДж/кг	42,5	20,2*	48,4
Цетановое число	45	1*	3
Температура самовоспламенения, °С	250	700*	540
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12*	17,2
Метановое число	—	123*	100

* Приведены усредненные значения.

Полученный на биогазовых установках биогаз может быть использован в качестве моторного топлива транспорта, для питания двигателей внутреннего сгорания стационарных установок различного назначения, обогрева зданий и сооружений, в качестве бытового газа. При этом на биогаз могут быть конвертированы как бензиновые двигатели с принудительным воспламенением рабочей смеси, так и дизельные двигатели. Однако сжигание биогазового топлива в дизельных двигателях при высоких степенях сжатия и повышенных коэффициентах избытка воздуха более эффективно, чем в двигателях с принудительным воспламенением. Следует отметить, что на процесс сгорания биогазовой смеси в объеме цилиндра дизельного двигателя влияют высокие температуры самовоспламенения этой смеси (как и рабочей смеси метана и воздуха), составляющие 600...800 °С (в зависимости от конструктивных особенностей и режима работы двигателя). Эти значения существенно превышают температуры самовоспламенения рабочей смеси капель нефтяного дизельного топлива с воздухом (180...420 °С) [13]. Поэтому самовоспламенение биогазовой смеси только за счет теплоты сжатия в камере сгорания дизеля весьма проблематично. Возможно вос-

пламенение рабочей смеси биогаза с воздухом от свечи зажигания или от запальной дозы дизельного топлива. При этом необходимо учитывать, что для воспламенения биогазового топлива требуется значительно увеличить энергию искрообразования, по сравнению с обычными бензиновыми двигателями, а подведенная с запальным дизельным топливом энергия в 100...10 000 раз больше, чем энергия искрообразования свечи зажигания.

Одним из наиболее перспективных направлений применения биогаза является производство из него электроэнергии, например, по технологической схеме, представленной на рис. 3. При переработке сельскохозяйственных отходов в биогаз, а затем в электроэнергию могут быть рассмотрены четыре варианта:

- 1) биогазовая установка с электроагрегатом находится рядом с животноводческим комплексом;
- 2) источники органического сырья рассредоточены по территории вокруг биогазовой установки с электроагрегатом;
- 3) биогазовые установки с электроагрегатом рассредоточены по территории;
- 4) биогазовые установки рассредоточены по территории вокруг электроагрегата.

Второй, третий и четвертый варианты характерны для переработки отходов небольших фермерских хозяйств. В первом варианте расположение биогазового реактора у животноводческого комплекса позволяет обеспечить его достаточным количеством органического сырья для получения биогаза. Животноводческий комплекс крупного рогатого скота необходимо ежедневно обеспечивать кормовыми ресурсами.

Для загрузки биогазовой установки производственной мощностью по биогазу 250 м³ в сутки требуется навоз от стада примерно в 200...220 голов, что потребует ежедневной доставки 12...14 т зеленых кормов, которые должны быть получены со 100...150 га пастбищ. С учетом распределения луговых трав в средней полосе России доставка кормов будет осуществляться в среднем на расстояние около 10 км, что потребует затрат на перевозку зеленой массы порядка 100...150 т·км ежедневно. Возврат на поля органического удобрения — эффлюента также составит порядка 100...150 т·км ежедневно [14]. Суммарные энергозатраты на транспортировку составят около 250 т·км ежедневно.

Во втором варианте обеспечение биогазовой установки органическим сырьем потребует его доставки с территории из расчета суточной загрузки 8...9 т навоза крупного рогатого скота при средней протяженности доставки, как и в первом варианте — 10 км. В результате транспортные затраты составят 80...90 т·км ежедневно. Возврат эффлюента на поля также составит порядка 80...90 т·км ежедневно. В результате суммарные энергозатраты на транспортировку составят около 170 т·км ежедневно, что на 80 т·км меньше, чем в первом варианте.

Третий вариант наименее предсказуем, так как производство электрической мощности пойдет в основном на покрытие собственных нужд. Он приведет к большим тепловым потерям и низкому электрическому КПД из-за малой мощности электроагрегатов и их работе не на полной нагрузке. Транспортные расходы

могут составить на среднем расстоянии около 1 км затрат на транспортировку зеленой массы около 12...14 т·км ежедневно и транспортировку эффлюента 12...14 т·км ежедневно. В результате суммарные энергозатраты на транспортировку составят около 25 т·км ежедневно, что на 220 т·км меньше, чем в первом варианте и на 140 т·км меньше, чем во втором.

В четвертом варианте транспортные расходы зеленой массы и эффлюента будут такими же, как и в третьем, но для работы центрального электроагрегата потребуется доставка от рассредоточенных биогазовых установок биогаза общим объемом 250 м³ в сутки на среднее расстояние около 30 км. Газ можно доставлять в 25 газовых баллонах общей массой около 2 т, что составит порядка 60 т·км ежедневно энергозатрат на сбор и доставку газа. С учетом затрат на доставку зеленой массы затраты будут составлять около 90 т·км ежедневно. В результате в четвертом варианте при такой же эффективности получения электроэнергии, как в первом и во втором вариантах, суммарные ежедневные затраты на транспортные работы будут ниже, чем в первом варианте на 160 т·км и на 80 т·км, чем во втором.

Из рассмотренных четырех вариантов организации переработки сельскохозяйственных отходов четвертый вариант является наиболее предпочтительным. В соответствии с проведенным анализом рекомендуется следующая методика выработки электроэнергии из биогаза при использовании такой установки в крупном АПК, состоящем из нескольких сельскохозяйственных объектов (животноводческих ферм и т. д.). Наиболее целесообразно получать биогаз непосредственно на этих объектах. Но поскольку на каждой ферме выход биогаза сравнительно невелик, предлагается использовать несколько биогазовых установок со сравнительно небольшим объемом генерируемого биогаза. Для сбора этого биогаза целесообразно использовать мобильную компрессорную установку, закачивающую биогаз в баллоны под высоким давлением (20...25 МПа). Эта мобильная компрессорная установка осуществляет сбор биогаза от локальных биогазовых установок и доставляет его в сжатом виде (в баллонах) к стационарной дизель-генераторной установке, включающей дизельный двигатель, работающий на биогазе, и электрогенератор, вырабатывающий переменный электрический ток.

Таким образом, предлагаемый автономный энергетический комплекс для выработки электроэнергии из биогаза состоит из следующих автономных элементов (рис. 5). Локальные биогазовые установки, генерирующие биогаз, размещаются непосредственно у животноводческих ферм. Этот биогаз собирается мобильной компрессорной установкой, закачивается в баллоны под высоким давлением и доставляется в баллонах к стационарной генераторной установке. При этом дизель-генераторная установка включает в себя дизельный двигатель, работающий на биогазе с запальной дозой дизельного топлива, и электрогенератор, вырабатывающий переменный электрический ток.

При проведении анализа целесообразности использования биогаза как альтернативного моторного топлива учитывалась имеющаяся сырьевая база для

производства биогаза. Согласно имеющимся статистическим данным, в 2012 г. поголовье крупного рогатого скота в России составляло 21,3 млн голов (плюс еще 18, 8 млн голов свиней). При этом ежедневный выход бесподстильного навоза (без соломы) от одной коровы составляет 50...60 кг. Таким образом, годовой ресурс навоза крупного рогатого скота в России можно оценить на уровне от 350 до 400 млн т (плюс еще 150...200 млн т навоза свиней).



Рис. 5. Схема автономного энергетического комплекса для выработки электроэнергии из биогаза

Из 1 т навоза крупного рогатого скота можно получить 40...65 м³ биогаза. Таким образом, потенциальное ежегодное производство биогаза из этого вида сырья может составить около 30 млрд м³ (около 20 млрд м³ из навоза крупного рогатого скота плюс около 10 млрд м³ из навоза свиней). С учетом того, что теплотворная способность 1 м³ биогаза составляет 20...25 МДж/м³ (в зависимости от содержания метана), сгорание такого количества биогаза эквивалентно сгоранию 20 млрд л бензина, 50 млн т дров или использованию 200 млрд кВт·ч электроэнергии. Для сравнения: 20 млрд л бензина — это около 15 млн т бензина, а в настоящее время в России ежегодно потребляется около 35 млн т бензина, около 55 млн т дизельного топлива и около 10 млн т керосина [15]. Конечно, представленные энергетические характеристики практически являются труднодостижимыми, но даже если удастся получить энергетический потенциал, несколько процентов то это в значительной степени смягчит энергетические проблемы, стоящие перед Россией.

Заключение. Использование биогаза в дизельных двигателях электроагрегатов, вырабатывающих электроэнергию в АПК, позволит решить локальные энергетические проблемы в сельской местности. Для этого необходима адаптация дизелей к работе на таком виде топлива. Наиболее перспективна работа дизелей на биогазе с запальной дозой дизельного топлива, обеспечивающей надежное воспламенение биогаза в цилиндрах двигателя. Разработанная схема автономного энергетического комплекса позволит вырабатывать электроэнергию из биогаза в АПК.

Литература

- [1] Попель О.С., Фортов В.Е. *Возобновляемая энергетика в современном мире*. Москва, Издательский дом МЭИ, 2015, 450 с.
- [2] Орси́к Л.С., Сорокин Н.Т., Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Тихонравов В.С. *Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития*. Москва, ФГНУ «Росинформагротех», 2008, 404 с.
- [3] Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. *Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания*. Москва, НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016, 292 с.
- [4] Марков В.А., Девянин С.Н., Шимченко С.П. Использование биогаза для получения электроэнергии в агропромышленных комплексах. *Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника*, 2014, № 3, с. 41–46.
- [5] Кириллов Н.Г. Альтернативные виды моторного топлива из биосырья для сельскохозяйственной автотракторной техники. *Достижения науки и техники в АПК*, 2002, № 2, с. 11–15.
- [6] Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. *Биогаз: теория и практика*. Москва, Колос, 1982, 140 с.
- [7] Гелатуха Г.Г., Кобзарь С.Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы: обзор. *Экология и ресурсосбережение*, 2002, № 4, с. 3–7.
- [8] Захарченко А.Н., Захарченко А.А., Сатьянов С.В. Источники получения биогаза. *Сельский механизатор*, 2011, № 2, с. 30–31.
- [9] Сидоренко О.Д. *Биологические технологии утилизации отходов животноводства*. Москва, Изд-во МСХА, 2001, 74 с.
- [10] Девянин С.Н., Чумаков В.Л., Марков В.А., Ефанов А.А. Использование биогаза в качестве топлива для дизелей. *Грузовик: транспортный комплекс*, 2011, № 11, с. 32–43.
- [11] Девянин С.Н., Чумаков В.Л., Марков В.А. Биогаз — альтернативное топливо для дизелей. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2012, № 2, с. 68–73.
- [12] Федоренко В.Ф., Сорокин Н.Т., Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Тихонравов В.С. *Инновационное развитие альтернативной энергетики. Ч. 1*. Москва, ФГНУ «Росинформагротех», 2010, 348 с.
- [13] Шимченко С.П., Эфрос В.В., Чернин С.Я. Дизельный двигатель и биогаз, научный подход эффективного взаимодействия. *Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо*, 2012, № 7, с. 37–42.
- [14] Попов Л.А. *Эксплуатация машинно-тракторного парка в агропромышленном комплексе*. Сыктывкар, Сыктывкарский лесной институт, 2004, 152 с.
- [15] Александров А.А., Марков В.А., ред. *Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения*. Москва, ООО НИЦ «Инженер», 2014, 691 с.

Афтени Иван Николаевич — магистрант кафедры «Поршневые двигатели», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — В.А. Марков, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Поршневые двигатели», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

USING BIOGAS FOR ELECTRICITY GENERATION IN THE AGRICULTURAL SECTOR

I.N. Afteni

aftenivan@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

We review existing technologies of biogas recovery in the agricultural sector and its potential applications. We analyse the problems and prospects of using biogas as energy carrier in internal combustion engines. We present a technology for recovering biogas from agricultural industry waste. We list physical and chemical properties of biogas. We outline a strategy for generating electricity from biogas in the Russian agricultural sector.

Keywords

Diesel engine, diesel fuel, biogas, diesel generator installation

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Popel' O.S., Fortov V.E. Vozobnovlyаемая энергетика в современном мире [Renewable power generation in today's world]. Moscow, MEI Publ. house, 2015, 450 p.
- [2] Orsik L.S., Sorokin N.T., Fedorenko V.F. Buklagin D.S. Mishurov N.P., Tikhonravov V.S. Bioenergetika: mirovoy opyt i prognozy razvitiya [Bioenergetics: global experience and projected growth]. Moscow, FGNU "Rosinformagrotekh" publ., 2008, 404 p.
- [3] Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaydar S.M. Biotopliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Biofuel for combustion engines]. Moscow, NITs "Inzhener" (Soyuz NIO) publ., 2016, 292 p.
- [4] Markov V.A., Devyanin S.N., Shimchenko S.P. Using biogas for generating electric power in agro industrial complexes. *Gruzovik: transportnyy kompleks, spetstekhnika* [Truck: Transportation Complex and Special Technique], 2014, no. 3, pp. 41–46.
- [5] Kirillov N.G. Alternative types of motor-fuel from biofeedstock for motor-and-tractorfarm machinery. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK* [Achievements of Science and Technology of AICis], 2002, no. 2, pp. 11–15.
- [6] Baader W., Bohne E.; Brenndörfer M. Biogas in Theorie und Praxis. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverl., 1978. (Russ. ed.: Biogaz: teoriya i praktika. Moscow, Kolos publ., 1982, 140 p.)
- [7] Gelatukha G.G., Kobzar' S.G. Modern technologies of biomass anaerobic fermentation: review. *Ekologiya i resursosberezhenie*, 2002, no. 4, pp. 3–7.
- [8] Zakharchenko A.N., Zakharchenko A.A., Sat'yanov S.V. Sources of biogas. *Sel'skiy mekhanizator*, 2011, no. 2, pp. 30–31.
- [9] Sidorenko O.D. Biologicheskie tekhnologii utilizatsii otkhodov zhivotnovodstva [Biotechnologies of animal breeding waste utilization]. Moscow, MTAA publ., 2001, 74 p.
- [10] Devyanin S.N., Chumakov V.L., Markov V.A., Efanov A.A. Using biogas as fuel for diesel engines. *Gruzovik: transportnyy kompleks, spetstekhnika* [Truck: Transportation Complex and Special Technique], 2011, no. 11, pp. 32–43.
- [11] Devyanin S.N., Chumakov V.L., Markov V.A. Biogas as alternative fuel for diesel engines. *Transport na al'ternativnom toplive* [Alternative Fuel Transport], 2012, no. 2, pp. 68–73.
- [12] Fedorenko V.F., Sorokin N.T., Buklagin D.S., Mishurov N.P., Tikhonravov V.S. Innovatsionnoe razvitie al'ternativnoy energetiki, Ch. 1 [Innovative development of alternative energetics. Vol. 1]. Moscow, FGNU "Rosinformagrotekh" publ., 2010, 348 p.

- [13] Shimchenko S.P., Efros V.V., Chernin S.Ya. Diesel engine and biogas, scientific approach to effective interaction. *Avtogazozapravochnyy kompleks + al'ternativnoe toplivo*, 2012, no. 7, pp. 37–42.
- [14] Popov L.A. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka v agropromyshlennom komplekse [Machine and tractor fleet exploitation in agroindustrial complex]. Syktyvkar, SyktyvkarSKIY lesnoy institut, 2004, 152 p.
- [15] Aleksandrov A.A., Markov V.A., ed. Neftyanye motornye topliva: ekologicheskie aspekty primeneniya [Oil engine fuels: ecological aspects]. Moscow, OOO NITs "Inzhener" publ., 2014, 691 p.

Afteni I.N. — Master's degree student, Department of Piston Engines, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — V.A. Markov, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Piston Engines, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.