Сумарокова Людмила Петровна
Sumarokova Lyudmila Petrovna
Национальный Исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
Доцент / Associate Professor / к.т.н
E-Mail: sumarok@tpu.ru

Филонов Алексей Алексеевич
Filonov Alexey Alekseevich
Национальный Исследовательский Томский политехнический университет
National Research Tomsk Polytechnic University
Магистрант / Master degree
E-Mail: mr.alexey1989@mail.ru

05.00.00 Технические науки
05.09.03 Электротехнические комплексы и системы

Оценка рациональности использования биогазовых установок в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей

Assessment of the rationality of use of biogas plants in the power supply of agricultural consumers

Аннотация: Энергия биомассы одно из динамично развивающихся направлений возобновляемой энергетики. Особо актуально их использование в децентрализованных системах электроснабжения, где в достаточном количестве имеются отходы сельскохозяйственного производства. В данной работе рассмотрена техническая возможность и экономическая целесообразности использования биогаза малыми автономными объектами.

The Abstract: Biomass energy is one of dynamically developing directions of renewable energy. Especially their use in decentralized power supply systems, where there are sufficient agricultural wastes. In this work deals with the technical possibility and economic expediency of the use of biogas small standalone entities.

Ключевые слова: Возобновляемые источники энергии, биогаз, автономный потребитель, газогенераторная станция, себестоимость электрической энергии.

Keywords: Renewable sources of energy, biogas, autonomous consumer, gas generator station, the cost of electric energy.

***

Как известно повышение энергоэффективности российской экономики одна из приоритетных и первоочередных задач. Для её решения разработаны и внедрены различные Государственные программы, Федеральные законы и постановления Правительства РФ. Одним из направлений для решения этой задачи является развитие использования возобновляемых и альтернативных источников энергии. Причины, по которым возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются приоритетным направлением развития энергетики, просты – неисчерпаемость ресурсов, повсеместность распространения основных из них, отсутствие топливной составляющей в себестоимости производимой электроэнергии, повышение экологической безопасности районов, где они используются. Но капиталоемкость

оборудования ВИЭ, их изменчивость и непостоянство во времени, а также необходимость согласования с графиком нагрузки потребителя, частично ограничивает возможность их использования.

Данная работа направлена на оценку возможности и целесообразности использования биогаза малыми автономными объектами. Мощность исследуемой системы электроснабжения лежит в пределах 10-200 кВт. Это могут быть группы домов, небольшие поселения или деревни в которых проживает малочисленное население, частные хозяйства или фермерские хозяйства, находящиеся в отдалении от централизованной системы электроснабжения. Такие объекты электроснабжения распространены в малонаселенных и не охваченных сетями центрального электроснабжения районах.

В основе биогазовой отрасли энергетики лежит процесс получения горючего газа, который можно использовать как для получения электричества, так и тепловой энергии. В биогазовых установках малой мощности (мини-ТЭЦ) применяются газопоршневые ДВС, приспособленные для сжигания биогаза .Основой биогаза является метан, на него приходится большая доля от общего объема – до 86%. После метана, основного продукта жизнедеятельности метановых бактерий, до 50% от общего объема газа приходится на углекислый газ. Смесь метана и оксида углерода и называется биогазом; его теплота сгорания составляет 18-24 МДж/м^3, а чистого метана – 37 МДж/м^3. Также биогаз может содержать соединения водорода и незначительные примеси сероводорода. В первую очередь, соотношение газов зависит от температуры, давления и влажности. Все эти факторы оказывают влияние на микроорганизмы, в результате чего они или повышают, или понижают уровень своей жизнедеятельности.

Основными источниками сырья в биогазовой энергетики выступают отходы ферм животноводческих хозяйств, канализационных стоков, отходы лесозаготовки. Оценка потенциальных ресурсов производится по локальным объемам производства: поголовью скота или птицы, по занимаемым под выращивание каких-либо культур площадям. Механизм оценки потенциально полученной энергии достаточно прост и не требует статистических данных или учет детальных климатических особенностей местности.

К достоинствам биоэнергетики можно отнести: отработанность технологий, широкую распространенность потенциальных ресурсов, а также их относительную дешевизну и простоту добычи. Процесс производства биогаза не сопровождается горением или выбросом в атмосферу каких-либо вредных веществ – он абсолютно закрыт и не представляет опасности для окружающей среды. При использовании биогаза решается проблема утилизации отходов, и обеспечивается не только энергетическая, но и экологическая безопасность в зоне работы биогазовой станции. Технологии получения биогаза некритичны к качеству сырья, соответственно, не требуется вырубка и уничтожения живых деревьев и обработка огромных площадей болот для добычи торфа. Биогазовая станция способна не только окупить себя и избавить потребителя от проблемы утилизации отходов, но и может приносить прибыль от продажи газа и удобрений. Побочными продуктами переработки остаются органические минеральные удобрения, которые ценятся на рынке выше искусственно химических. И если достоинства очевидны, то к основным недостаткам отрасли можно отнести требуемую высокую плотность первоначального сырья, то есть установка должна обслуживать конкретный поселок или крестьянское хозяйство в локальных масштабах местности.

Для оценки эффективности использования биогазового проекта в качестве источника электрической энергии, подбора мощности генерирующего оборудования в соответствии с мощностью нагрузки потребителя и оценки адекватности выходных параметров исследуемой системы была создана простейшая математическая модель газопоршневой установки (ГПУ) разработанная с помощью пакетов **MATLAB-Simulink**. В модели представлены следующие

элементы: электрогенератор, состоящий из газопоршневого двигателя ГПД (GD) с закрепленным на валу синхронным генератором (SG), выпрямителя(V), блока накопителя энергии на свинцово-кислотных АКБ(BNE), инвертора напряжения(I) 400 В питания активно-реактивной нагрузки. Блок системы управления требуется для регулирования режимов заряда-разряда и включения дополнительного источника питания (аккумуляторных батарей).

Первейшим условием работы установки является наличие горючего газа в системе. В идеальных условиях при рекомендуемом проточно-накопительном методе сбора биогаза перерывы в работе установки будут происходить только во время ремонтов. При беспрерывности процесса появляется некоторая постоянная составляющая газа, которая легко поддается линейной аппроксимации. Работа же электрогенератора и его режим обусловлены, прежде всего, графиком нагрузки потребителя и исправностью электрической части системы.

Газовая часть системы представлена в виде регулируемого клапана на выходе газопровода, увеличивая или уменьшая открытие которого можно обеднять или насыщать газо-воздушную смесь тем самым изменяя механическую мощность двигателя, а, следовательно, и электрическую мощность системы. Регулируя открытие клапана можно легко изменять давление газа, поэтому он представляет собой не только регулятор мощности системы, но и своеобразную защиту газгольдера от перенасыщения газом.

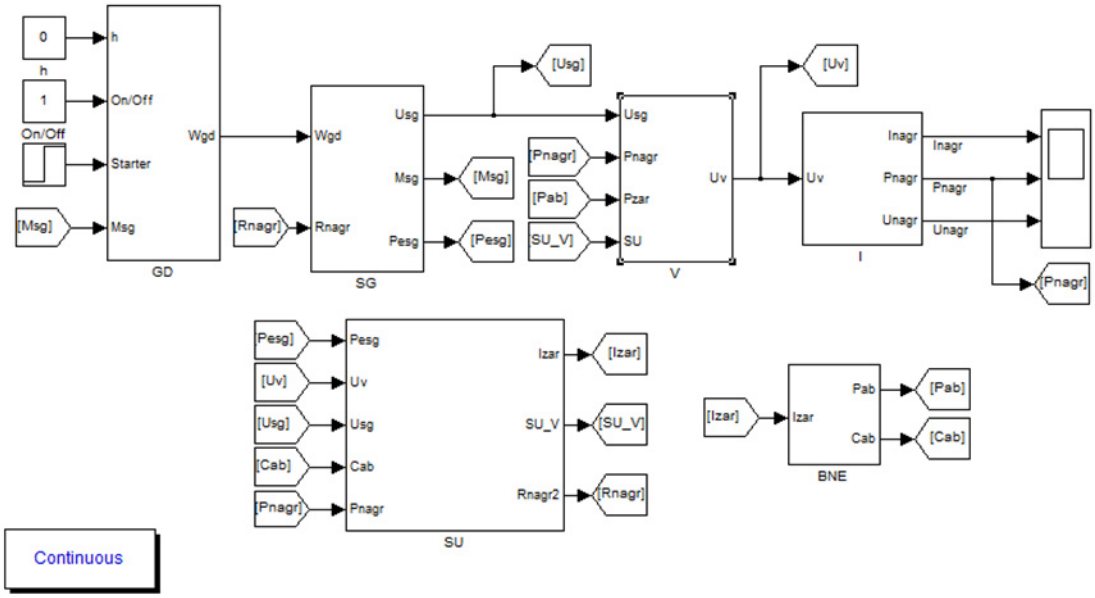

Рис. 1. *Комплексная модель ГПУ*

Система является динамической – регулирование выходных электрических параметров, осуществляется изменением режима работы ГПД, а также величиной электрической нагрузки.

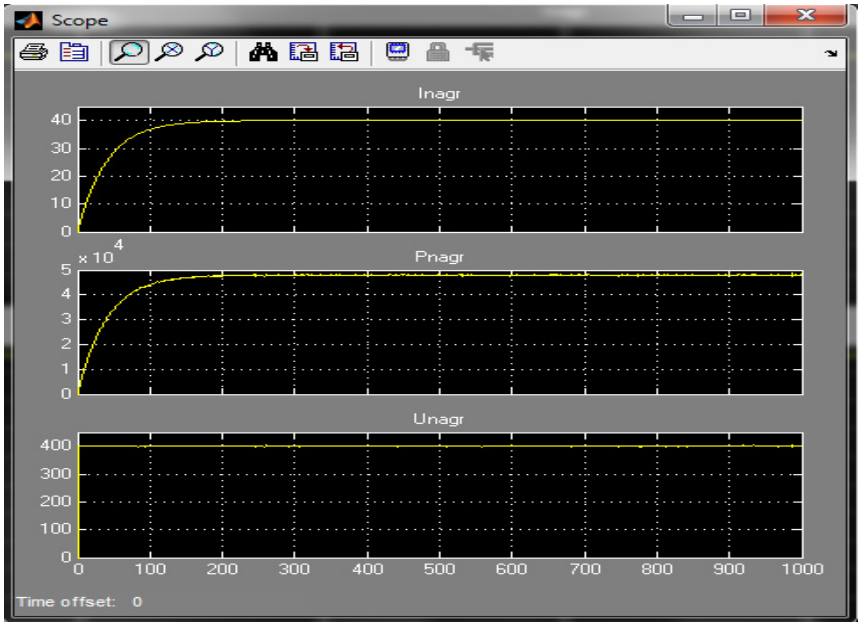

Рис. 2. *Внешняя характеристика ГПУ*

При построении модели газопоршневого двигателя были использованы характеристики газового двигателя конвертированного из аналогичного дизеля, аппроксимированные для требуемой установленной мощности, момента и оборотов (рис.3) [3,5]. Как правило, газовые двигатели редко выпускаются серийно, за исключением применения их для специализированных задач в науке и технике, поэтому зачастую используются газовые двигатели, переоборудованные из традиционных бензиновых, а с недавнего времени – после развития в Европе соответствующих технологий – и из традиционных дизельных [1].

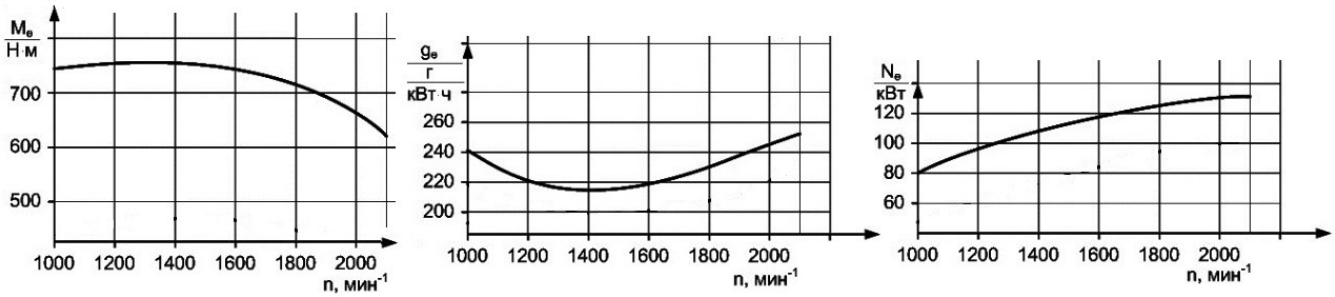

Рис. 3. *Внешние характеристики газового двигателя 6ГЧН13/14 [1]*

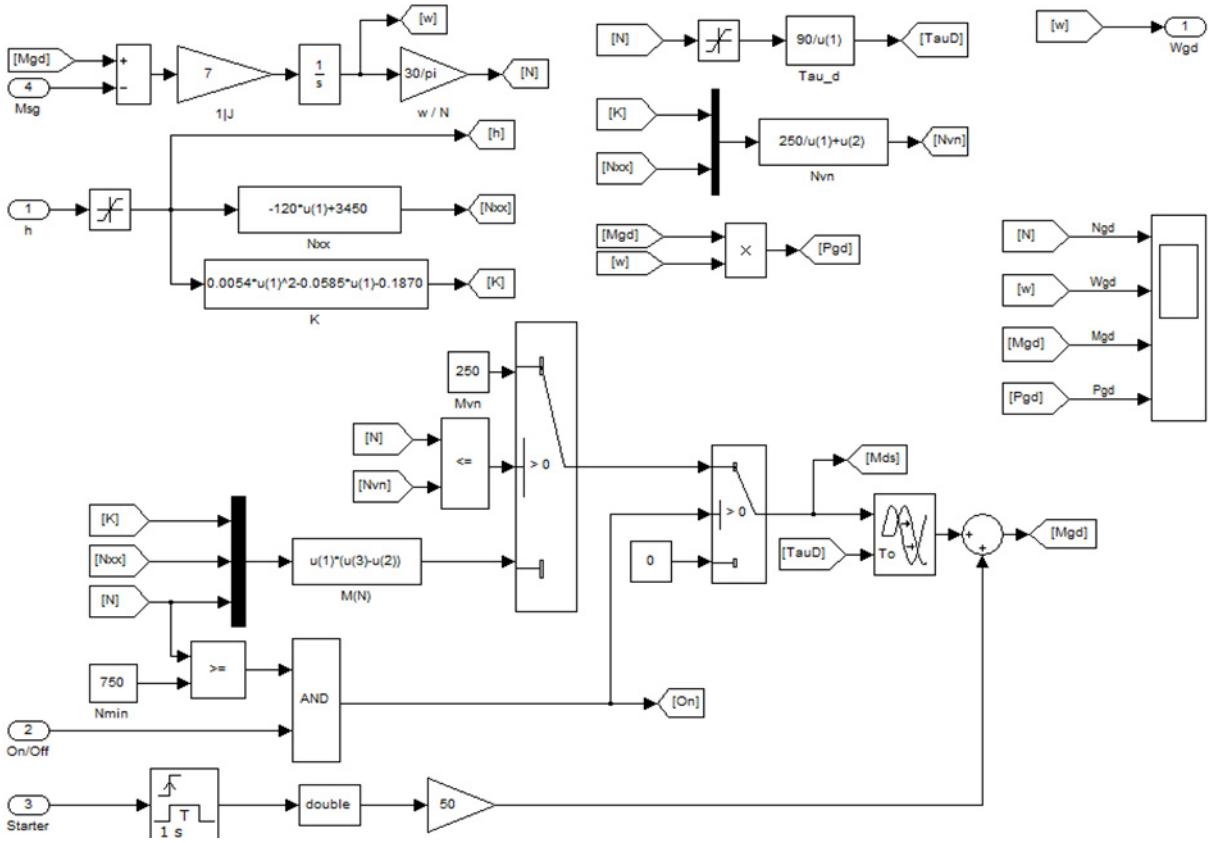

Рис. 4. *Подмодель ГПД*

Модель синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов собрана на основе его векторной диаграммы. Такой подход обусловлен большим интервалом времени симуляции. Готовый блок СГ библиотеки Simulink SimPowerSystem построен на основе уравнения Парка-Горева и требует больших вычислительных ресурсов компьютера, что чревато длительным временем ожидания компиляции программы.

Входными параметрами модели «SG» являются: «Wgd» – угловая скорость вращения вала ГПД, рад/с и «Rnagr» – сопротивление нагрузки, Ом.

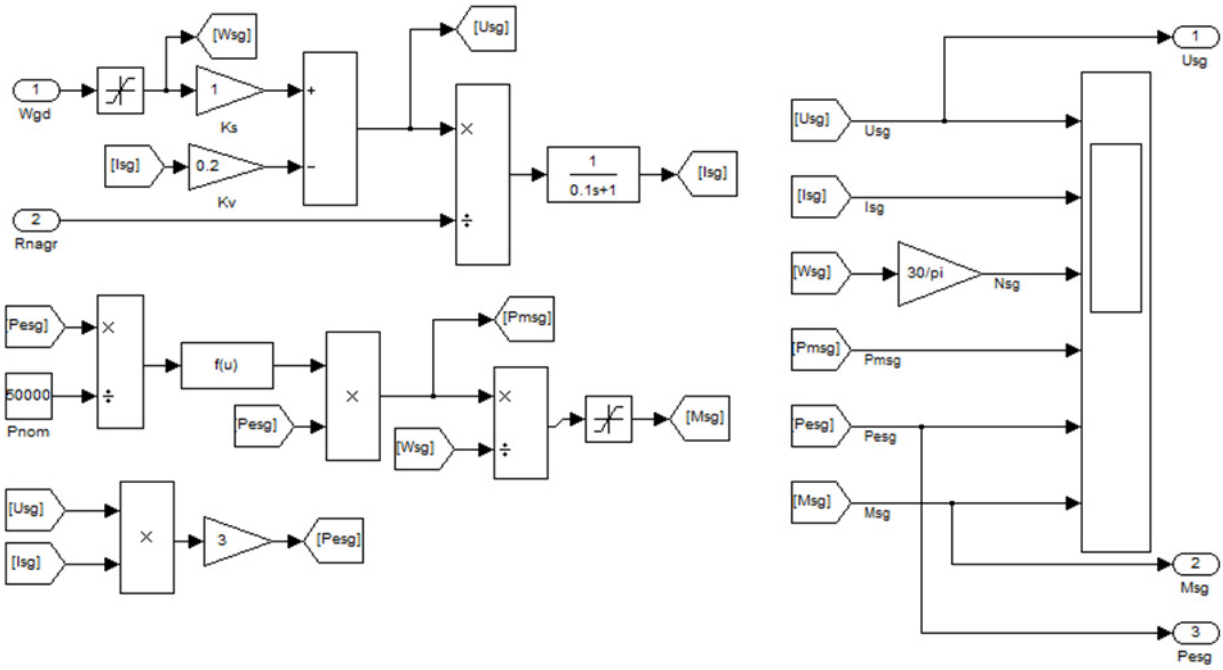

Рис. 5. *Подмодель синхронного генератора*

Выходные информационные параметры:

«Usg» – фазное напряжение СГ, В; «Isg» – фазный ток, А; «Nsg» – частота вращения вала генератора, об/мин;«Pmsg» – механическая мощность нагрузки, Вт; «Pesg» – электрическая мощность нагрузки, Вт; «Msg» – механический момент, Н·м.

Выходными данными модели являются фазное напряжение и мощность, требующиеся для дальнейшего построения комплексной модели ГПУ и механический момент, который будет являться моментом нагрузки на валу газопоршевого двигателя.

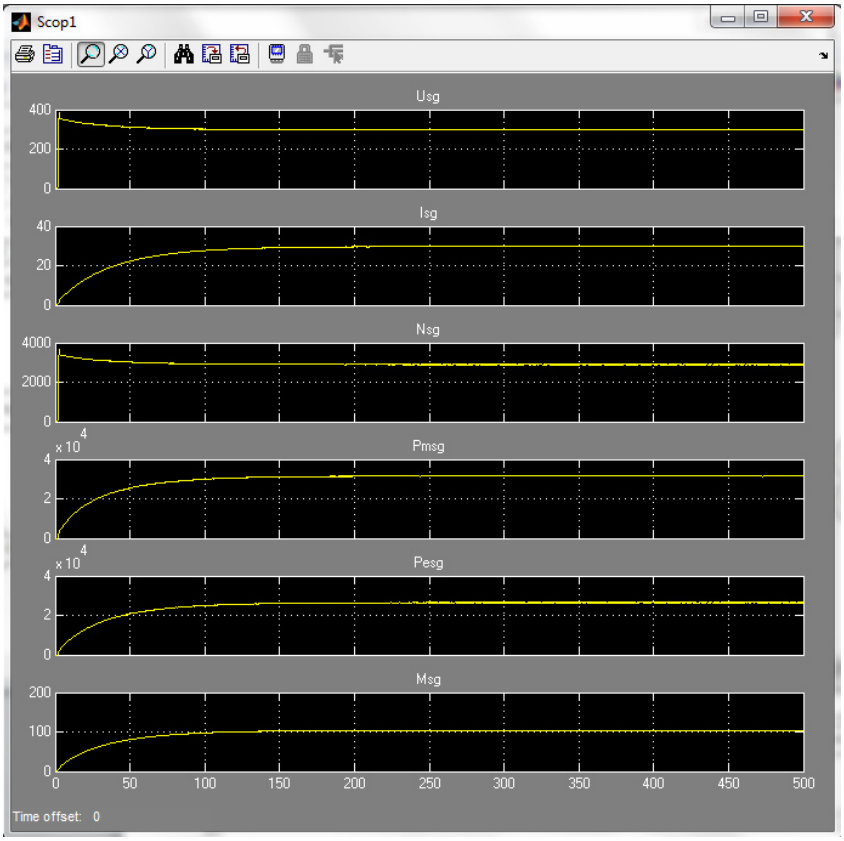

Рис. 6. *Выходные характеристики модели генератора*

Временные графические характеристики наглядно демонстрируют изменение параметров сети – такие как напряжение, мощность и токи – во времени используя значения которых можно подобрать подходящее по мощности оборудование или расширить систему, дополняя ее резервными источниками питания. Таким образом, с технологической точки зрения, использование газопоршневых генераторов в составе биогазовых станций оправдано их простотой конструкции и обслуживания, высоким моторесурсом и относительной дешевизной. Электрическая мощность, выдаваемая установкой, напрямую зависит от подачи газа в систему и величины нагрузки, поэтому регулирование выходных параметров может осуществляться как уровнем подачи газовоздушной смеси, так и снижением, либо повышением присоединенной нагрузки. Система управления будет поддерживать заданную величину напряжения, сохраняя баланс мощностей за счет изменения токов. Система получается замкнутой по мощности и напряжению, что обеспечивает плавное изменение выдаваемой мощности (следовательно, и коэффициента загрузки агрегата) по перепадам графика нагрузки потребителя.

Однако также требуется рассмотреть экономический аспект строительства биогазовых станций, так как основными затратами являются капитальные вложения при полном обеспечении собственного хозяйства электрической энергией и удобрениями, то эффективность использования установки будет оцениваться не уровнем чистого дохода от ее эксплуатации, а себестоимостью получаемой электрической энергии.

Себестоимость электроэнергии $C_{эл}$ определяется путем деления годовых издержек $\sum И$ руб., на количество энергии, выработанной за год газогенераторной станцией $W_{год}$. кВт·ч. (1):

$$C_{эл} = \frac{\sum И}{W_{год}} \quad (1)$$

Суммарные издержки на газогенераторную электростанцию на биотоплеве, руб./год, при эксплуатации одного агрегата газогенератора [2,4], можно определить из (2):

$$\sum И = И_{ЗП} + И_{ЕСН} + И_{АМ} \quad (2),$$

где $И_{ЗП} = 12nN_Э\ З_{пл}$ – годовые издержки на зарплату персонала; n – штатный коэффициент на электростанции чел/МВт; $N_Э$ – электрическая мощность установки, МВт; $З_{пл}$- месячная зарплата одного штатного сотрудника, руб./месяц; $И_{ЕСН} = 0{,}3 \cdot И_{ЗП}$ – отчисления от зарплаты, руб.; ежегодные амортизационные отчисления: $И_{АМ} = p_{ам} \cdot K_{\sum}$; где $p_{ам}$– норма амортизационных отчислений (на капитальный ремонт и реновацию, расходы на эксплуатацию) от капиталовложений, принятый по формуле $p_{ам} = \frac{1}{T_{СЛ}}$, где $T_{СЛ}$ – экономический срок службы оборудования (принимаем в расчете 10лет).

Объем капиталовложений на оборудование в вариант системы электроснабжения от газогенераторной станции, работающей на биомассе, зависят от следующих показателей: установленной мощности газогенераторной установки (рис.7) [2], расходов на транспортировку оборудования, расходы на строительно-монтажные, пуско-наладочные, проектно-изыскательские работы. Суммарные капиталовложения в газогенераторную электростанцию найдем как:

$$\sum K = K_{ОБ} + K_{СМ} + K_{ПР} + K_{ПН} \quad (3)$$

где $K_{ОБ}$ – затраты на оборудование газопоршневой станции на биогазе, руб.; $K_{см} = (0{,}15 \div 0{,}2) \cdot K_{ОБ}$ – стоимость строительно-монтажных работ, руб; $K_{ПР} = (0{,}05 \div 0{,}1) \cdot K_{СМ}$ – затраты на проектные работы, руб.; $K_{ПН} = (0{,}03 \div 0{,}05) \cdot K_{ОБ}$ –стоимость пуско-наладочных работ, руб.

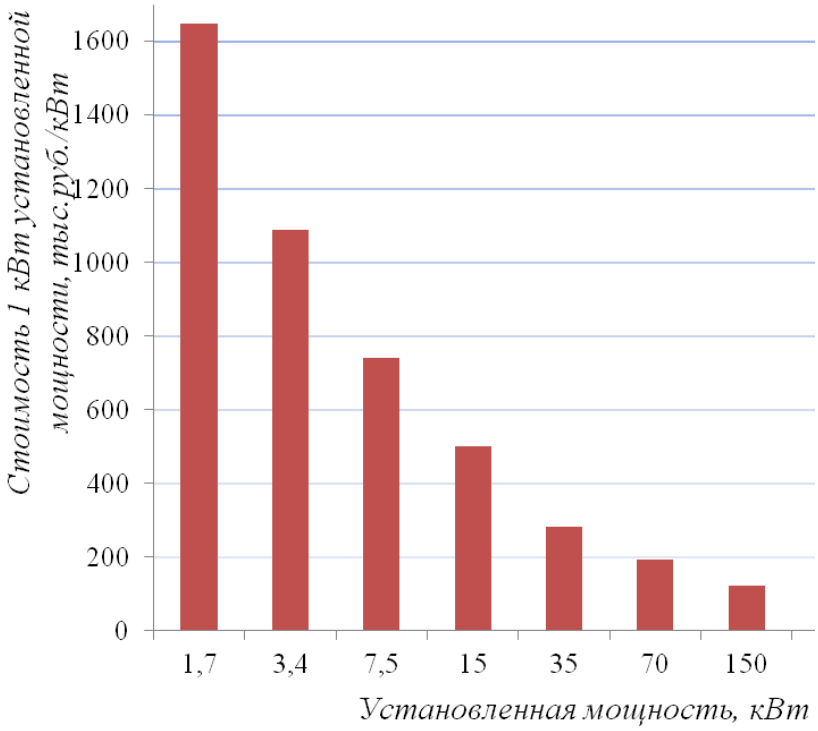

Рис.7. *Уменьшение стоимости 1 кВт установленной мощности при увеличении единичной мощности установки*

Из графика на рис.7. видно, что стоимость 1 кВт установленной мощности оборудования уменьшается с увеличением единичной мощности оборудования, поэтому установки небольшой мощности, с учетом меньшей выработки электрической энергии, с экономической точки зрения всегда будут уступать более мощным газогенераторным станциям.

Для оценки экономической эффективности использования биогазовых электростанций, был произведен оценочный расчет себестоимости получаемой электрической энергии с использованием формул (1-3), для потребителей с установленной мощностью 2÷150 кВт.

Для выбора мощности биогазовой установки производилось моделирование процесса работы ГПУ с помощью разработанной программной модели. Выбор биогазовых установок производился исходя из ассортимента установок российской компании ООО «СпецЭнергоСнаб» [6]. Пример: выбора для частного жилого дома с установленной мощностью 7 кВт принимаем биогазовую установку БГУ-25 с суточной выработкой газа в 100 м^3, параметры которой представлены в табл.1. Выбранная станция позволяет обеспечить потребителя необходимой электрической мощностью рис.8.

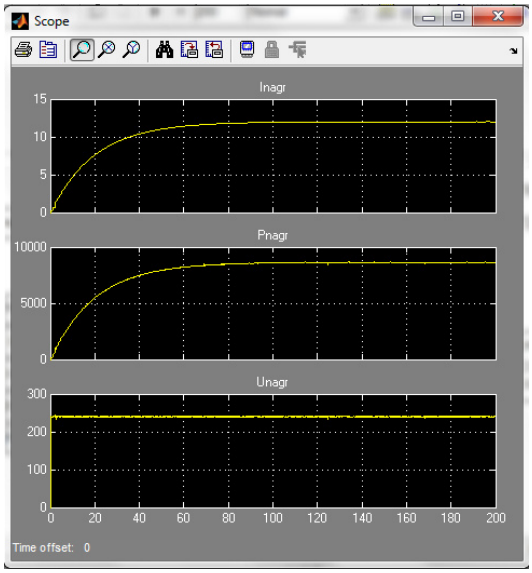

Рис. 8. *Внешние характеристики работы ГПУ БГУ-25*

Таблица 1

Характеристики БГУ-25 ООО «СпецЭнергоСнаб» [6]

Объем биореактора, м^3	Суточная загрузка, т	Выход биогаза, м^3/сут	Стоимость, тыс. руб.
25	5	100	5560

Результаты расчета себестоимости получаемой электрической энергии, для различных коэффициентов заполнения графика нагрузки, представлены в табл.2. и на рис. 9.

Таблица 2

Результаты расчета себестоимости электроэнергии от биогазовых установок фирмы ООО «СпецЭнергоСнаб»

Установленная мощность, кВт	Суммарные Капиталовложения ∑К , тыс. руб.				Суммарные издержки, ∑И, тыс. руб.			Коэффициент заполнения гр.нагр. $К_{з.г.н.}$	Потребляемая эл.энергия тыс. кВт·ч	□эл руб./кВт·ч
	$К_{ОБ}$	$К_{СМ}$	$К_{ПР}$	$К_{ПН}$	$И_{ЗП}$	$И_{ЕСН}$	$И_{АМ}$			
7	5560	1112	111,2	278	215,7	6,7	556	1	61,32	12,69
								0,7	42,92	18,13
								0,5	30,66	25,39
								0,3	18,39	42,31
10	9900	1980	198	495	384,1	11,9	990	1	219	6,32
								0,7	153,3	9,04
								0,5	109,5	12,65
								0,3	65,7	21,09
25	13600	2720	272	680	527,7	16,3	1360	1	438	4,35
								0,7	306,6	6,21
								0,5	219	8,69
								0,3	131,4	14,49

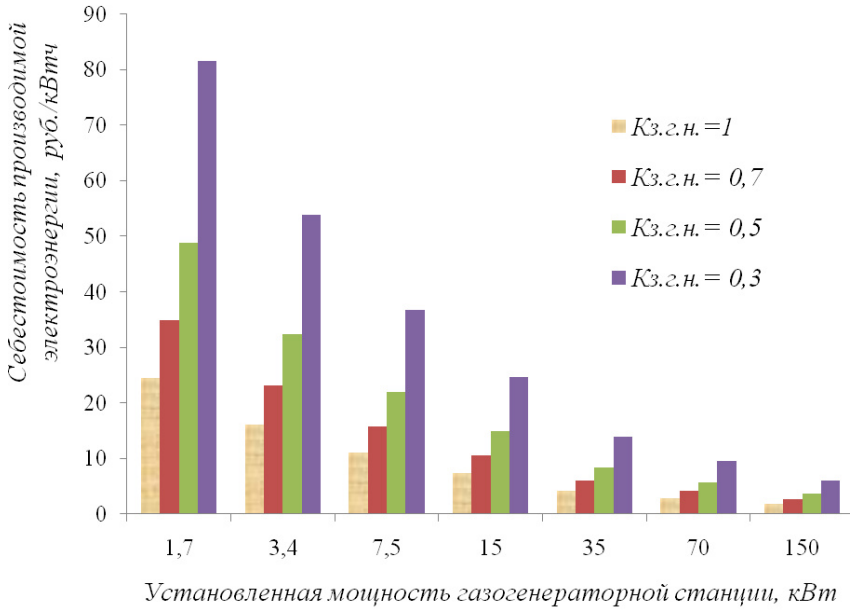

Рис. 9. *Изменение себестоимости производимой электрической энергии от биогазовых электрических станций в зависимости от мощности потребителя и коэффициента заполнения графика нагрузки*

Расчетная себестоимость находится в пределах 1,8÷ 81,5 руб./кВт·ч, что соизмеримо выше, чем электроэнергия, получаемая от энергосистемы. Но многих децентрализованных зонах у потребителей, использующих в качестве источников электрической энергии дизельные электростанции, стоимость электрической энергии находится на порядок выше. Например, тарифы на электрическую энергию, производимую дизельными электростанциями Томской области, находятся в пределах 15÷55 руб./кВт·ч [7]. Применение биогазовых станций снимает вопрос транспортировки топлива, так как исходное сырье для получения

электроэнергии буквально лежит на полях ферм и хозяйств.

Сопутствующие выгоды от использования биогазовой станции могут быть извлечены из продажи органических минеральных удобрений, продажи электроэнергии другим потребителям, а также от услуг по переработке и утилизации отходов агропромышленного района. Срок окупаемости тем меньше, чем большую мощность имеет установка, поэтому можно говорить о том, что наибольшая целесообразность и выгода от применения биогазовых станций обеспечивается для крупных агрокомплексов.

В данной работе ставился вопрос реализуемости и рациональности использования биогазовых установок для отдаленных и малочисленных поселений. Использование результатов исследования, позволит снизить временные затраты по определению рациональности использования биогазовых установок, в зависимости от исходных характеристик потребителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вербовский В.С. Возможности применения газодизельных электростанций в Украине. // Экотехнология и ресурсосбережение. – 2003. – No1. – с..13-17.
2. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
3. Коджо А., Тюбаль Л., Дубре И., Липинский М.С., Кабанов А.Н., Абрамчук Ф.И., Маамри Р. – Выбор и обоснование регулировочных параметров газового двигателя с наддувом, конвертированного из дизеля. // Вестник Национального технического университета "ХПИ" Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ» - 2011. - №54 – 18-26с.
4. Коновалова Л.П., Лукутин Б.В. Эффективность возобновляемой энергетики в децентрализованных зонах Деп. в .ВИНИТИ 26.03.07 №310-В2007
5. Марков В.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В.А. Марков и др. — М.: Легион – Автодата, 2008. – 464 с.
6. Биоэнергетические установки // Электронный каталог продукции ООО «СпецЭнергоСнаб» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.306.ru/bioen.htm, свободный.
7. Тарифы на услуги коммунального комплекса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rec.tomsk.gov.ru/map.html свободный.

Рецензент: Лукутин Борис Владимирович, профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой ЭПП НИ ТПУ.