

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных
систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ZSHT7059>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.,

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә. Б. *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцен;</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ: 44.01.05

<https://doi.org/10.48081/WOAT8087>

***Н. Т. Рустамов¹, А. Н. Бергузинов², О. Д. Меирбекова¹,
Г. А. Тулебаева¹**

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Республика Казахстан, г. Туркестан;

²Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар.

*e-mail: nasim52@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСНОВАННАЯ НА ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Развитие малой энергетики (МЭ) или распределенная генерация (РГ) стимулирует ученых, конструкторов и инженеров создавать новые установки генерирующих энергии. В работе рассматривается одна из таких установок, работающая на биогазе, являющаяся возобновляемым источником энергии. При этом, говорится, что газотурбинный двигатель (ГТД), работающий на биогазе, впервые как когенеративный РГ применялся для отопления теплицы. Описывая конструкции такой РГ, отмечается, что при получении биогаза из сельскохозяйственных и животноводческих отходов, как вторичный материал получается гумус как урожайный грунт необходимый для тепличного хозяйства. Показана возможность управления таким когенеративным РГ, работающей на базе ГТД, с помощью передаточной функции. Проведен анализ полученных результатов эксперимента на модельном экземпляре предложенной когенеративной РГ.

Также в работе рассматривается вопрос, связанный с созданием гибридной системы распределенной генерации (РГ), работающей на газотурбинном двигателе, отличающийся от существующих подобных РГ, где топливом для ГТД используется

биогаз, полученный из животноводческих и сельскохозяйственных отходов. Отмечается, что когда гибридная РГ конструируется на базе ГТД, работающего на биогазе, на выходе можно получить не только тепловую и электрическую энергию, но и урожайный грунт, необходимый в тепличных хозяйствах. Приводится математическая модель РГ, основанная на передаточной функции предлагаемой системы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, гибридная энергосистема, биогаз, газотурбинный двигатель, региональная генерация, математическая модель, управление, эксплуатация системы.

Введение

Опыт использования когенеративной РГ, работающей на базе биогаза, показал на практике некоторые трудности, возникающие проблемы, связанные с управлением такими системами. В текущем сценарии наблюдается быстрое истощение запасов ископаемого топлива, что делает ископаемое топливо ненадежным источником. Существуют и другие неблагоприятные проблемы, такие как изменение климата, увеличение концентрации выбросов CO_2 , которые неизбежно приводят к продвижению возобновляемых источников энергии (ВИЭ). ВИЭ, такие как солнце, ветер и биомасса, играют жизненно важную роль в добыче электроэнергии. Например, Индия имеет достаточно возможностей для использования энергии из возобновляемых источников. Совокупное достижение grid interactive и off grid interactive возобновляемые источники энергии в Индии составляют около 37413,70 МВт и 1219,61 МВт соответственно по состоянию на 30.09.2015 [1].

Газовые турбины становятся основным оборудованием для выработки электроэнергии благодаря их длительному сроку службы и топливной гибкости. Для успешной выработки электроэнергии с использованием газовой турбины требуются особые требования к составу газа и концентрации смолы в биомассе. Следовательно, установка на биомассе является приемлемым вариантом для удовлетворения текущего спроса на энергию.

С другой стороны, из-за эффективности применения РГ и уход от централизованного энергоснабжения, все становится понятным, что для управления такими системами проектирования виртуальных электростанций (smart grit) просто необходим. Такая тенденция сегодня наблюдается в энергетических ситемах развитых стран Европы, США и Азии [2]. По определению, РГ – генерация электрической энергии в близости потребителя. Здесь, мы хотели отметить, что потребители, находящиеся на расстоянии, нуждаются не только в электрической энергии, но и в тепловой энергии. Такое положение дел, требует конструировать систему когенеративных РГ, работающих на базе ВИЭ [3]. Еще можно отметить, что роль виртуальных электростанций заключается в обеспечении энергетического баланса мощности на основе спроса и предложения потребителя [4].

В данной работе предлагается система РГ, работающая на базе газотурбинного двигателя, в котором используется биогаз в качестве топлива. Такой инновационный метод создания РГ предложен впервые [5]. Что интересно, в этом случае, результатом работы системы РГ будет не только выработка электрической и тепловой энергии, но и выработка урожайного грунта для тепличного хозяйства. В этом случае возникает задача, связанная оптимальным управлением созданной гибридной РГ. Традиционно такая задача решается созданием математической модели управления технической системой.

Целью работы является создания гибридной РГ работающей в режиме когенерации и ее математической модели, основанной на передаточной функции.

Материалы и методы

Для гибридной системы РГ можно успешно использовать ГТД, для генерации не только электрической, но и тепловой энергии. Если в качестве топлива использовать биогаз, то вторичным отходным материалом можно получить урожайный грунт, который очень востребован в тепличном хозяйстве. Если на пути выхлопного газа ГТД (рис.1) прикрепить тепловую батарею, то из выбрасываемой 50% тепловой энергии можно отобрать полезное тепло. Воспользуясь этим свойством, ГТД можно конструировать в эффективно работающую гибридную систему РГ.

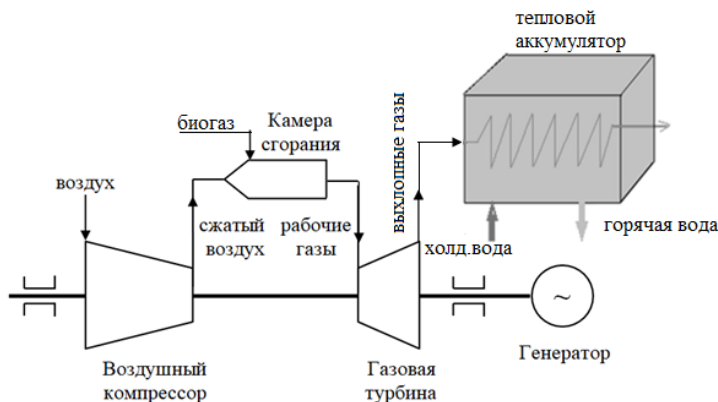


Рисунок 1 – ГТД с тепловым аккумулятором

Если в ГТД как топливо использовать биогаз, полученный из отходов сельскохозяйственных и животноводческих хозяйств, то можно получить вторичный отходный материал в виде урожайного грунта – гумус. Использование биогаза как топлива в ГТД, имеет большое преимущество. Так как отходный материал, получающийся из биореактора, после брожения первичных отходов, является вторичный отходный материал, являющийся ценным агропродуктом – гумусом.

Объектом моделирования в нашем случае является гибридная система РГ, работающая на базе ГТД, где топливом является биогаз [6]. Суть модели заключается в определении поведения «вход-выход» микрогазотурбинной системы с разумной точностью при низкой вычислительной сложности.

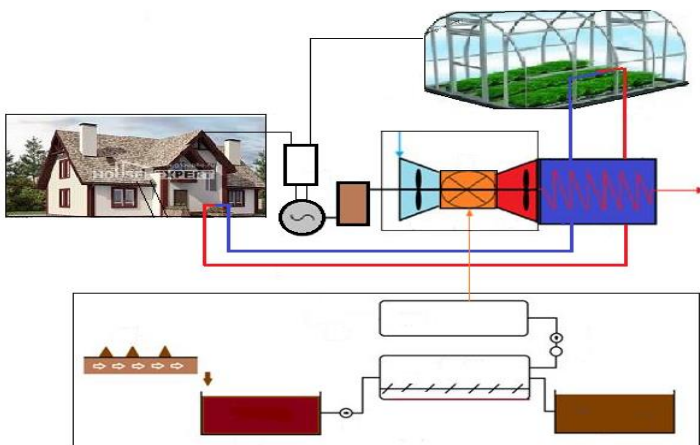


Рисунок 2 – Отопление теплицы гибридной энергосистемой

Это модуль выработки биогаза V , связанный с заполнением газгольдера. Второй модуль вырабатывающий электрическую мощность P и тепловую энергию $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)$.

Роуэн разработал математическую модель установки ГТД большой мощности в 1983 году. На рисунке 3 представлена функциональная блок-схема одновального HDGT с топливной системой и контроллерами.

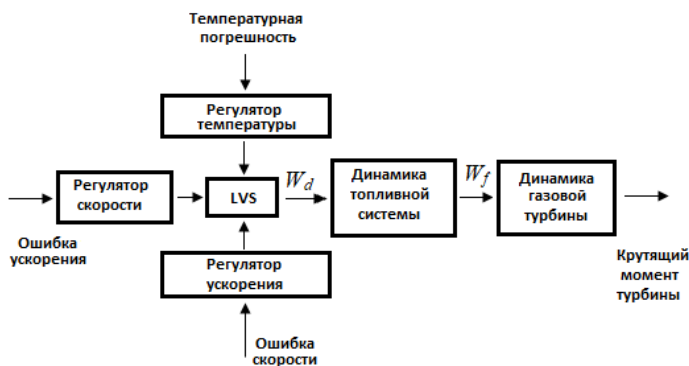


Рисунок 3 – Функциональная блок-схема одновального HDGT с топливной системой и контроллерами.

Когда проектируется когенеративная РГ выходные влияния внешней среды E и внутренние характеристики генерирующей системы показывают не зависимость имеющая векторное свойство $\vec{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$, при этом выходящие параметры проявляет зависимость имеющая тоже векторную форму

$\vec{y}(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$. А сам процесс работы когенеративной РГ можно представить в виде оператора K_i , который преобразует эти вектора, т.е.

$$\vec{y}(t) = K_i(\vec{x}(t)) \quad (1)$$

Оператор K_i по своей сути отражает физические свойства эндогенных переменных при преобразовании их в экзогенные. В нашем случае K_i оценивается экспериментальным путем или из таблиц, где уже определены свойства этих переменных. Оценка значения коэффициента K_i зависит от того, какое допущение сделали при моделировании исследуемого объекта. Понятно, что допущения при математическом моделировании зависят от постановки решаемой задачи и от нужного используемого результата [7].

На основе этих соображений создадим математическую модель гибридной распределенной генерации (ГРГ). Гибридная система РГ состоит из трех звеньев. Выходным звеном является звено выработки биогаза $V(Q_m, \vec{y}(t))$ и гумуса $\Gamma(\vec{y}(t))$.

Построение математической модели процесса производства биогаза характеризует скорость образования биогаза ($V_c, \text{м}^3/\text{кг сут}$), которая зависит от технологических параметров анаэробной обработки навоза [8]:

$$V_c = \frac{V_\sigma S}{\tau_c} \left(1 - \frac{k_s}{\mu \tau_c - 1 + k_w} \right) \mu \quad (2)$$

где V_σ ($\text{м}^3/\text{кг}$) – предельный выход биогаза из органических веществ в навозе; μ ($\text{м}^3/\text{кг сут}$).

Введем коэффициент характеризующий тип навоза K_i . Так как нам нужен тип навоза, значит входным параметром будет животноводческие и сельскохозяйственные отходы $Q_m(K_i, \vec{x})$ математическая модель этого звена [9]:

$$\frac{\partial Q_M}{\partial t} = K_i \cdot (V_c(\vec{y}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))) \quad (3)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots$

Второе звено, это звено ГТД, в котором получаем электрическую энергию $P(I, U)$ и выхлопной газ, т.е. тепловую энергию $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)$. Уравнение этого звена:

$$\frac{\partial (V_c(\vec{y}(t)))}{\partial t} = K_i \cdot (P(I, U) + Q(m, \Delta T)) \quad (4)$$

Третье звено изъятия полезной тепловой энергии $Q_m(\Delta T)$ из $Q_M(K_i, \vec{x})$

$$\frac{\partial Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)}{\partial t} = K_i \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{выхл. газ})) \quad (5)$$

Таким образом работа гибридной системы РГ описывается тремя уравнением

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_M}{\partial t} = K_1 \cdot (V_c \vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t)) \\ \frac{\partial (V_c(\vec{y}(t)))}{\partial t} = K_2 \cdot (P(I, U) + Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)) \\ \frac{\partial Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)}{\partial t} = K_3 \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{выхл. газ})) \end{cases} \quad (6)$$

введем обозначение $\frac{\partial}{\partial t} = k$.

В конечном счета передаточная функция

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M(K_i, \vec{x})} \quad (7)$$

здесь $Q_m(\Delta T)$ - полезное тепло, $Q_{\text{пол}}(\Delta T)$ – общее выработанное тепло.

$$\begin{cases} kQ_M = K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))) \\ kV_c(\vec{y}(t)) = K_2 \cdot (P(I, U) + Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)) \\ kQ_{\text{теп}}(m, \Delta T) = K_3 \cdot ((Q_m(\Delta T) + \text{выхл. газ})) \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения (8) будет математической моделью гибридной системы РГ. Здесь можно не учитывать тепловую энергию, уносящий выхлопной газ. При этом $Q_M = Q_{\text{теп}}(m, \Delta T) + \text{выхлоп. газ.}$, в свою очередь $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T) = Q_m(\Delta T) + \text{выхлоп. газ.}$ Тогда $Q_m(\Delta T)$ является полезной тепловой энергией. Введем коэффициенты характеризующие свойства звеньев, коэффициенты K_1 – зависит от состава отхода, K_2 – зависит от КПД газотурбинного двигателя, K_3 – зависит от степени сжатия воздушного компрессора. Из (8) находим передаточную функцию W для РГ:

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M} \quad (9)$$

где передаточная функция гибридной системы РГ выглядит следующим образом:

$$W = \frac{Q_m(\Delta T)}{Q_M} = \frac{\frac{k^2 V_c(\vec{x}(t)) - kP(I, U)}{K_2 K_3}}{\frac{K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t)))}{k}} = \frac{(k^2 V_c(\vec{x}(t)) - kP(I, U))k}{K_2 K_3 (K_1 \cdot (V_c(\vec{x}(t)) + \Gamma(\vec{y}(t))))} \quad (10)$$

Для оценки $Q_m(\Delta T)$ нужна будет модель ГТД. С помощью этой модели оценим поведение выходной температуры выхлопного газа ГТД.

Существует множество способов построения математических моделей ГТД [10]. Различные типы моделей время от времени разрабатывались с использованием разных подходов и для разных целей. В нашем случае, математическая модель ГТД нужна для определения зависимости температуры выхлопного газа с мощности ГТД, или зависимости температуры выхлопного газа со скоростью оборотом турбины. В свою очередь такая зависимость зависит от объема биогаза $V_c(\vec{y}(t))$ и от свойств параметров $\vec{y}(t)$. Так как цель нашей модели – это оценка тепловой энергии $Q_{\text{теп}}(T_2)$ выхлопного газа, получаемый из начального отхода Q_M и получаемый $Q_m(\Delta T)$ полезное тепло, вычитанный из $Q_{\text{теп}}(T_2)$, где $(\Delta T) = T_2 - T_3$, здесь T_3 – это температура газа выбрасываемая в атмосферу.

Для нашей математической модели нужна оценка температуры T_2 тепловой энергии $Q_{\text{теп}}$ получаемой из начального отхода Q_M .

Таким образом, термический КПД ГТД можно определить из выражения:

$$\mu_{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (11)$$

где T_1 , T_2 -температура рабочего тела (газа) на входе и на выходе из турбины, соответственно, приближенно температуру газов на выходе турбиной можно найти по простому соотношению:

$$\frac{T_1}{T_2} = \pi_k^{0.25} \quad (12)$$

где $\pi_k = p_{\text{вх}}/p_{\text{вых}}$ – степень сжатия воздушного компрессора, которая определяется как отношение давления за компрессором $p_{\text{вых}}$ к давлению перед ним $p_{\text{вх}}$. Например, для ГТД со степенью сжатия $\pi_k = 14$ и температурой перед турбиной:

$T_1 = 1300^\circ\text{C}$, температура за ней составит примерно:

$$T_2 = \frac{T_1}{\pi_k^{0.25}} = \frac{1300}{14^{0.25}} = 672^\circ\text{C} \quad (13)$$

Термический КПД ГТД для этих условий:

$$\mu_{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1300 - 672}{1300} = 48\% \quad (14)$$

Результаты и обсуждение

Термический КПД действующих ГТД составляет от 40 до 65%, однако реальный КПД электростанций такого типа не превышает 35%. Относительно невысокие значения КПД ГТД обусловлены значительными потерями тепла, выбрасываемыми в дымовую трубу (из-за высокой температуры) уходящих газов и большими потерями энергии, затрачиваемыми в компрессоре на сжатие воздуха (для сжатия воздуха требуется значительно больше энергии, чем для сжатия воды).

Нам нужно оценить температуру T_2 . Поэтому мы можем пользоваться математической моделью, составленной на программе, такие как Simulink, MATLAB, которые используются для указанной цели. На рисунке 4 показана структурная схема ГТД.

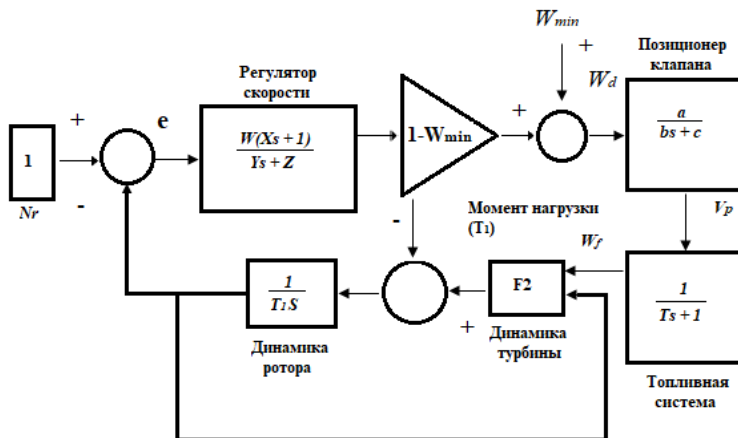


Рисунок 4 – Упрощенная структурная схема ГТД созданный в Matlab Simulink

На основе этой модели оцениваем выходную температуру T_1 передающуюся на тепловой аккумулятор. Эту температуру находим на основе графиков приведенной на рисунке 10. Для параметров ГТД $T=1000$ К, $P=0,101$ МПа, находим выходные параметры ГТД.

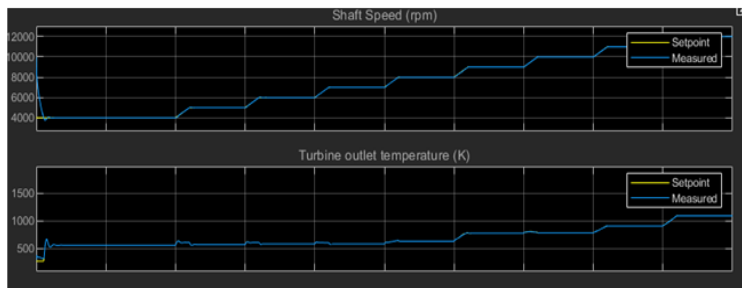


Рисунок 9 – Результаты для входа: $T_1=1000$ К, $P=0,101$ Мпа, выход будет: $T_2=1500$ К, $P=0,201$ Мпа

Из графика можно найти значение температур T_2 . График на рисунке 9 получается на основе передаточной функции приведенной формуле (10).

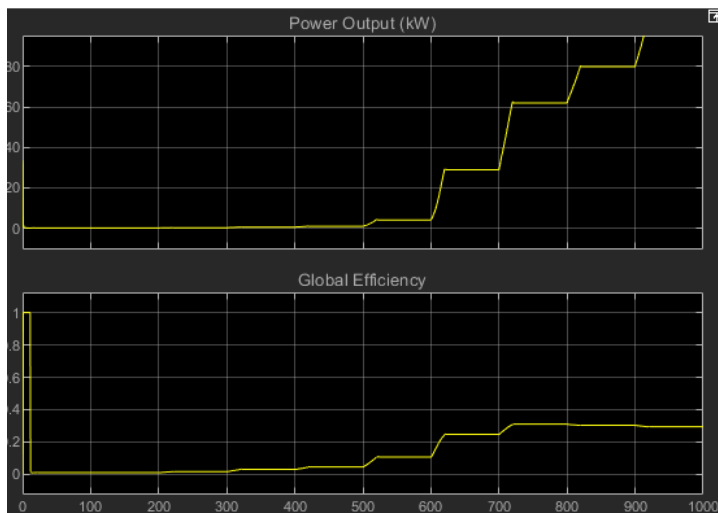


Рисунок 10 – Соответствующая мощность вала и КПД компрессора

При использовании биогаза объемом 1 л постоянная работа производила 3,3 кВт электроэнергии в час и 3500 ккал тепла одновременно. Получение электрической и тепловой энергии контролируется подачей газа и воздуха. Если использовать большой бытовой баллон 30 л, то мы получим около 95 кВт электроэнергии с рабочим циклом 30-35 часов и получим 330×10^3 ккал тепла в зависимости от местной температуры.

При этом, тепловой аккумулятор имел размерность $2 \times 2 \times 3$ м (рисунок 1). Если температура выхлопного газа равна, допустим 700°C , тогда тепловая энергия на тепловом аккумуляторе рассчитывается по формуле:

$$Q = cm(700^\circ\text{C}) \quad (15)$$

Если учесть, что для воды c равно $4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$, то не трудно рассчитать массу воды находящуюся в тепловом аккумуляторе.

Объем теплового аккумулятора 12 м^3 , а масса воды в нем $14,4 \text{ кг}$.

$$Q_m(\Delta T) = \frac{4200 \text{ Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 14,4 \text{ кг} \cdot 700^\circ\text{C} = 42336000 \text{ Дж} = 42,336 \text{ МДж}$$

Опыт показал, что из 1 м^3 биогаза можно получить приблизительно 25 МДж тепла (получаем тепло 330×10^3 ккал).

При подключении к распределительной сети ГРГ одной из основных задач является распределение нагрузок генерирующего генератора. Это осуществляется следующим образом:

Определяется от типа ГТД потенциально возможное генерирование мощности ГРГ.

Определяются потери активной мощности, потери активной мощности при передаче потенциально возможной сгенерированной электрической энергии ГРГ потребителю.

Если суммарная мощность генерируемой ГРГ электроэнергии не меньше нагрузки потребителя, то все это покрывается за счет ГТД.

Если есть избыток энергии, то он передается батарее для накопления энергии (БНЭ). В случае, когда БНЭ уже полностью заполнен, на соответствующую величину уменьшается мощность ГТД.

Если общая мощность ГТД вырабатываемой электрической энергии меньше нагрузки потребителей, нехватка мощности покрывается за счет БНЭ.

Выводы

Наличие большого запаса сельскохозяйственных, животноводческих и растениеводческих отходов в нашей стране, побудило нас использовать эти отходы в виде ВИЭ, для получения тепловой, электрической энергии и урожайного грунта, необходимое для тепличных хозяйств. С помощью предложенной гибридной РГ можно решить следующие задачи, дающие практический выход:

1) Появилась возможность использования биоотходов для получения тепловой и электрической энергии низкой по себестоимости.

2) Доказали возможность использования биогаза получаемого из биоотходов в качестве топлива для ГТД работающей в гибридной системе РГ. При этом выяснилось еще одно преимущество предложенной гибридной системы РГ.

Выдвинутая концепция создания математической модели гибридной РГ запатентована и показала свою работоспособность. Построенная математическая модель гибридной системы РГ дает возможность оценки зависимости входного отхода выраженной в измерениях энергии, от

полезно выходной тепловой энергии $Q_m(\Delta T)$. Для такой оценки построена передаточная функция гибридной системы РГ. Необходимые нужные вычислительные параметры определяется с помощью программы, созданной в Matlab Simulink.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Меирбекова, О. Д., Рустамов, Н. Т.** К вопросу создания гибридных энергетических систем. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», Ташкент, 2022. – С. 83.– 90.

2 **Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, AskhatBerguzinov.** Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. / eastern-european journal of enterprise technologies ISSN 1729-3774 2/8 (116) 2022. – 29.– 37.

3 **Ekstrom, T. E. and Garrison, P. E.,** «Large Gas Turbines for Mechanical Drive Applications», GER-3701, GE Company, Schenectady, NY, August 1991

4 **Рустамов, Н. Т., Конусов, Б. Р., Рустамов, Е. Н.** Создание гибридного источника энергии / Вестник МКТУ имени А. Ясауи, № 1(81), 2013. С.69–72.

5 Пат. № 7970 Республика Казахстан. Гибридная система для выработки тепловой и электрической энергии / Н. Т. Рустамов; А. Т. Мейрбеков; Н. Р.Авезова; О. Д. Меирбекова; Ш. А. Бабахан; зарегистрирован РК 24.11.2022 г., опубл. 24.11.2022г.

6 Пат. № 29833 Республика Казахстан. Способ всесезонного электроснабжения теплицы из альтернативного источника энергии / Н. Т. Рустамов; А. Т. Мейрбеков; Д. Меирбекова; зарегистрирован РК 29.10.2021., опубл 04.01.2022г.

7 **Стенников, В. А.** Централизованная и распределенная генерация - не альтернатива, а интеграция / В. А. Стенников, Н. И. Воропай //Известия РАН. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 64–73.

8 **Щеклеин, С. Е., Дубинин, А. М.** Сравнительный анализ удельных показателей когенерационной газотурбинной установки, работающей на продуктах окисления алюминия и бора / Международный научный журнал

«Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE) – 2019. – № 28–33 (312–317). С. 73–85.

9 **Patton, R. J., Simani, S., Daley, S. and Pike, A.,** (2000). Fault Diagnosis of a Simulated Model of an Industrial Gas Turbine Prototype Using Identification Techniques. // IFACProceedings Volumes, 33(11), P.511–516.

10 **Ожогова, Е. В., Лубенцова, Е. В., Лубенцов, В. Ф.** Математическое моделирование тепловых процессов в трубчатом электронагревателе биореактора // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 4. – С. 74–82.

REFERENCES

1 **Meirbekova, O. D., Rustamov, N. T.** К вопросу созданиya гибридных энергетических систем [On the issue of creating hybrid energy systems]. // Журнал «Проблемы информатики и энергетики», Tashkent, 2022, №3. .P. 83.– 90.

2 **Nassim Rustamov, Oksana Meirbekova, Adylkhan Kibishov, Shokhrukh Babakhan, AskhatBerguzinov.** Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774 2/8 (116) 2022. – 29.– 37.

3 **Ekstrom, T. E. and Garrison, P. E.,** «Large Gas Turbines for Mechanical Drive Applications», GER-3701, GE Company, Schenectady, NY, August 1991

4 **Rustamov, N. T., Konusov, B. R., Rustamov, E. N.** Sozdanie gibridnogo istochnika energii / Vestnik MKTU im. A. Yasau, # 1(81), 2013, P. 69-72.

5 Pat. № 7970 Respublika Kazakhstan. Gibrinaya sistema dlya vy`rabotki teplovoj i elektricheskoy energii [Hybrid system for generating thermal and electrical energy] / N. T. Rustamov; A. T. Meirbekov; N. R.Avezova; O. D. Meirbekova; Sh. A. Babakhan; zaregistrirovan RK 24.11.2022g., opubl. 24.11.2022g.

6 Pat. # 29833 Respublika Kazakhstan. Sposob vsesazonnogo elektrosnabzheniya teplicy` iz al`ternativnogo istochnika energii [Method of all-season power supply to a greenhouse from an alternative energy source] / N. T. Rustamov; A. T. Meirbekov; D. Meirbekova; zaregistrirovan RK 29.10.2021., opubl 04.01.2022g.

7 **Stennikov, V. A.** Centralizovannaya i raspredeleonnaya generacziya - ne al'ternativa, a integracziya / V.A. Stennikov, N. I. Voropaj //Izvestiya RAN. E`nergetika. – 2014. – # 1. – P. 64–73.

8 **Shheklein, S. E., Dubinin, A. M.** Sravnitel'ny`j analiz udel'ny`kh pokazatelej kogeneracionnoj gazoturbinoj ustanovki, rabotayushhej na produktakh okisleniya alyuminiya i bora [Comparative analysis of specific indicators of a cogeneration gas turbine unit operating on aluminum and boron oxidation products] / Mezhdunarodny`j nauchny`j zhurnal «Al'ternativnaya e`nergetika i e`kologiya» (ISJAEE)- 2019. -# 28-33 (312-317), P. 73-85.

9 **Patton, R. J., Simani, S., Daley, S. and Pike, A.,** (2000). Fault Diagnosis of a Simulated Model of an Industrial Gas Turbine Prototype Using Identification Techniques. IFACProceedingsVolumes, 33(11), P.511-516.

10 **Ozhogova, E. V., Lubentsova, E. V., Lubentsov, V. F.** Mathematical modeling of thermal processes in a tubular electric heater of a bioreactor//Modern high-tech technologies. – 2022. – No. 4. – P. 74-82.

Поступило в редакцию 15.03.24

Поступило с исправлениями 19.03.24

Принято в печать 02.06.24

**Н. Т. Рустамов¹, А. Н. Бергузинов², О. Д. Меирбекова¹,
Г. А. Тулебаева¹*

¹Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Қазақстан Республикасы, Түркістан қ.,

²Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.,
15.03.24 ж. баспаға түсті.

19.03.24 ж. түзетулерімен түсті.

02.06.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТАРАТЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ ЖҮЙЕСІНІҢ БЕРІЛУ ФУНКЦИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬ

*Бұл жұмыста жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) негізінде
жұмыс істейтін гибриді энергетикалық жүйелерді басқарудағы
қиындықтарға байланысты мәселе қарастырылады. Осы*

жүйелерді пайдалану кезіндегі осал тұстары ашылады. Осы жүйелердің оң және теріс жақтарын саралай келе, гибриді энергетикалық жүйелерді құру үшін газ турбиналы қондырғылардың (ГТҚ) пайдалану тұжырымдамасы ұсынылады. Бұл ретте ГТҚ үшін отын негізінде өсімдік немесе мал шаруашылығы қалдықтарынан алынатын биогазды пайдалану ұсынылады. Мұндай дизайнның схемалық схемасы және оның жұмыс принципі келтірілген. Сондай-ақ, жұмыста газтурбиналық қозғалтқышта жұмыс істейтін, ГТҚ -ға арналған отын мал шаруашылығы және ауыл шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогазды пайдаланатын, қолданыстағы ұқсас ҰБТ-дан ерекшеленетін таратылған генерацияның (ТГ) гибриді жүйесін құруға байланысты мәселе қаралады. Гибриді шырыша биогазбен жұмыс істейтін газ турбиналы қозғалтқыш (ГТҚ) негізінде құрастырылған кезде, нәтижесінде жылу және электр энергиясын ғана емес, сонымен қатар жылыжай шаруашылықтарында өте қажет өнімді топырақты алуға болады. Ұсынылған жүйенің берілу функциясына негізделген ТГ математикалық моделі келтірілген.

Кілтті сөздер: жаңартылатын энергия көздері, гибриді энергия жүйесі, биогаз, газ турбиналы қозғалтқыш, аймақтық генерация, математикалық модель, басқару, жүйені пайдалану.

*N. T. Rustamov¹, A. N. Berguzinov², O. D. Meirbekova¹,
G. A. Tulebaeva¹

¹Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University,
Turkistan, Republic of Kazakhstan

²Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

Received 15.03.24

Received in revised form 19.03.24

Accepted for publication 02.06.24

A MATHEMATICAL MODEL BASED ON THE TRANSFER FUNCTION OF A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM

This paper examines the issue related to the difficulties of managing hybrid energy systems operating on the basis of renewable energy sources (RES). The main vulnerable points of the use and operation of these systems are revealed. Summarizing the positive and negative aspects of these systems, the concept of using jet gas turbine engines (GTE) to create hybrid energy systems is proposed. At the same time, it is proposed to use biogas obtained from crop or animal husbandry waste as the basis for the fuel for the gas turbine engine. A schematic diagram of such a design and the principle of its operation are given. The paper also discusses the issue related to the creation of a hybrid distributed generation system (DG) powered by a gas turbine engine, which differ from existing similar RGS, where biogas obtained from livestock and agricultural waste is used as fuel for the gas turbine engine. It is noted that when a hybrid DG is constructed on the basis of a gas turbine engine (GTE) running on biogas, then as a result, not only thermal and electrical energy can be obtained at the output, but also productive soil, which is quite necessary in greenhouses. A mathematical model based on the transfer function of the proposed system is given.

Keywords: renewable energy sources, hybrid power system, biogas, gas turbine engine, regional generation, mathematical model, management, system operation.

Теруге 03.06.2024 ж. жіберілді. Басуға 28.06.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректоры: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Тапсырыс №4248

Сдано в набор 03.06.2024 г. Подписано в печать 28.06.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректорлар: А. Р. Омарова, М. М. Нугманова

Заказ № 4248

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz