

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

№ 3 (2023)

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/YBCY7199>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</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

<https://doi.org/10.48081/HQCJ8598>

***О. Д. Меирбекова¹, Н. Т. Рустамов², А. Н. Бергузинов³,
А. Г. Калтаев⁴**

^{1,2}Қожа Ақмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Қазақстан Республикасы, Түркістан қ.,

^{3,4}Торайғыров университеті, Павлодар қ, Қазақстан Республикасы

e-mail: oksana_120183@mail.ru

ГАЗ ТУРБИНАЛЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ НЕГІЗІНДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН ТАРАТЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

Бұл мақалада мал шаруашылығы және ауыл шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогаз отынмен пайдаланылатын газтурбиналық қозғалтқышта жұмыс істейтін гибридті таратылған генерация жүйесін құруға байланысты мәселе қаралды. Ұсынылған гибридті ТГ көмегімен практикалық нәтиже беретін келесі мәселелерді, яғни өзіндік құны төмен жылу және электр энергиясын алу үшін биоқалдықтарды пайдалану мүмкіндігі және ТГ гибридті жүйесінде жұмыс істейтін ГТҚ үшін отын ретінде био қалдықтардан алынған биогазды пайдалану мүмкіндігі дәлелденді. Гибридті таратылған генерация жүйесі газ турбиналы қозғалтқыш (ГТҚ) негізінде салынған кезде, нәтижесінде жылу мен электр энергиясын ғана емес, сонымен қатар жылыжай шаруашылықтарында өте қажет өнімді, яғни гумусты алуға болатындығы атап өтілді. Жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) негізінде жұмыс істейтін гибридті энергетикалық жүйелерді басқарудағы қиындықтарға байланысты мәселелер, сонымен қатар, осы жүйелерді пайдалану кезіндегі кемшіліктері қарастырылды. Осы жүйелердің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере келе, гибридті энергетикалық жүйелерді құру үшін газ турбиналы қозғалтқыштарды (ГТҚ) пайдалану тиімді екендігі ұсынылды және қондырғының схемасы, оның жұмыс принципі келтірілді. Гибридті таратылған энергия басқарудың математикалық моделі келтірілген. Қажетті есептеу параметрлері MATLAB Simulink-те жасалған бағдарламаның көмегімен анықталды.

Кілтті сөздер: Биогаз, газ турбиналы қозғалтқыш, аймақтық генерация, математикалық модель, гибридті жүйе, басқару.

Кіріспе

Көптеген елдердің таратылған энергетикаға көшу үрдісі және тұтынушыларды орталықтандырылған энергиямен жабдықтауды азайту таратылған генерация объектілерімен электр энергетикалық жүйелердің жұмысын жандандыру мәселелерін шешуді алға қойып отыр. Интеллектуалды электр энергетикалық жүйелерінің (smart grid), когенерацияның, микротурбиналық электр станцияларының және ЖЭК пайдалану негізінде энергия өндірудің технологияларын белсенді түрде енгізу таратылған электр энергиясын өндіруге көшу үрдісін арттыруда. Бірқатар Еуропа елдерінде, Азия елдерінде, АҚШ-та орталықтандырылған энергиямен жабдықтаудан таратылған энергетиканы дамытуға көшу байқалады. Таратылған энергияны анықтаудың әртүрлі тәсілдері бар, бірақ көбінесе «таратылған генерация» (distributedgeneration) термині тұтыну орнына жақын жерде электр энергиясын өндіретін төмен қуатты (20-30 МВт-қа дейін) генерациялайтын объектілердің жиынтығын білдіреді [1,2]. Екінші жағынан, алыстағы тұтынушылар үшін электр энергиясын ғана емес, жылу энергиясын да қамтамасыз ету қажет. Бұл жағдай электр және жылу энергиясын өндіретін таратылған генерация (ТГ) дамуын талап етеді, яғни когенерация режимінде жұмыс істейтін ТГ жүйесі[3]. Мұндай токтар электр энергетикасы жүйелеріндегі бірқатар міндеттерді шешуге ықпал етеді: яғни, қажет болған жағдайда тұтынушыларға ең жоғары және резервтік энергиямен қамтамасыз ету немесе тұтынушыларға қуат орталықтарынан алыс орталықтандырылмаған энергия өндіруді қамтамасыз ету болып табылады [4].

Бұл жұмыста биогазды отын ретінде пайдаланатын газ турбиналы қозғалтқыш негізінде жұмыс істейтін ТГ жүйесі ұсынылады. Мұндай инновациялық әдіс бірінші рет [5] ұсынылып отыр. Бір қызығы, бұл жағдайда ТГ жүйесінің жұмысының нәтижесі тек электр, жылу энергиясын өндіру ғана емес, сонымен қатар жылыжай шаруашылығы үшін өнімді топырақ (гумус) өндіру болады[6]. Осылайша, ұсынылған ТГ жүйесін ТГ гибридті жүйесі деп атауға болады.

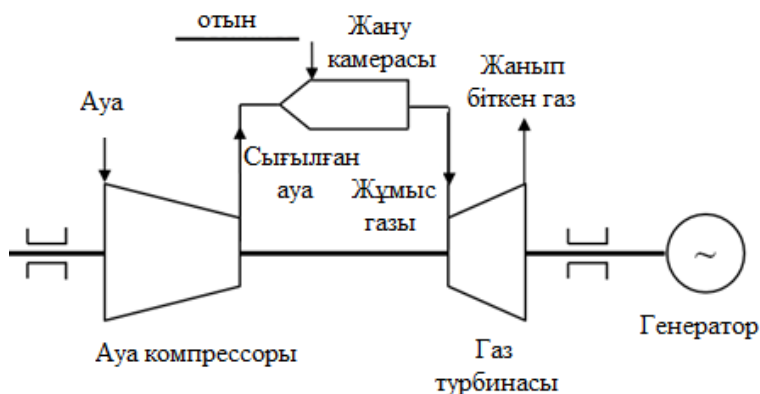
Материалдар мен әдістер.

Өнеркәсіптік дамыған және әртүрлі климаты бар дамушы аудандарда өз орнын табатын шағын энергетика технологиясын әзірлеу сұранысқа ие.

Газ турбиналы қозғалтқышта (ГТҚ) газ қызады және сығылады, содан кейін қыздырылған және сығылған газдың энергиясы газ турбинасының білігіндегі механикалық жұмысқа айналады. Сонымен бірге энергияның 50 % атмосфераға пайдаланылған газ түрінде түседі. Газ турбиналы

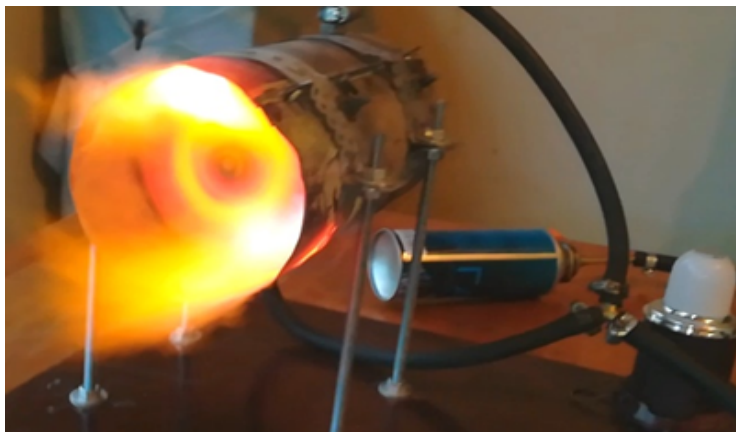
қозғалтқыштың поршенді қозғалтқыштан айырмашылығы ГТҚ-да процестер қозғалатын газ ағынында жүреді (сурет 1).

ТГ гибриді жүйесі үшін электр энергиясын ғана емес, жылу энергиясын да өндіру үшін ГТҚ -ты тиімді түрде пайдалануға болады. Егер биогаз отын ретінде пайдаланылса, онда екінші реттік қалдық материалмен жылыжай шаруашылығында өте сұранысқа ие өнімді топырақты, яғни гумусты алуға болады. Егер пайдаланылған газ жолында ГТҚ болса (сурет 2) жылу батареясын қойып, шығарылатын жылу энергиясының 50 %-ын пайдалы жылу ретінде алуға болады. ГТҚ - тың осы қасиетін пайдалана отырып, ТГ-ның тиімді жұмыс істейтін гибриді жүйесін құруға болады[8].



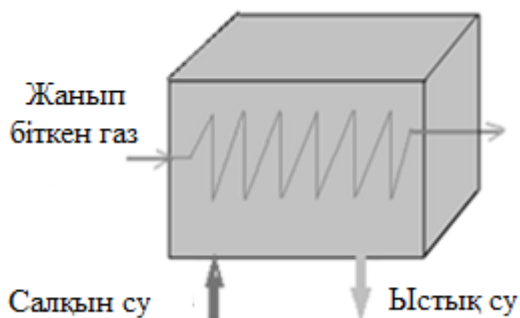
Сурет 1 – Қарапайым газ турбиналы қозғалтқыштың схемасы

Таза атмосфералық ауа оның қысымын арттыратын компрессор арқылы өтеді. Содан кейін биогаз ауаға бүрку және оны тұтату арқылы қосылады, осылайша жану кезінде жоғары температура ағыны пайда болады. Бұл жоғары қысымды жоғары температуралы газ турбинаға түседі, онда ол шығатын қысымға дейін ұлғайып, біліктің жұмыс қуатын тудырады және пайдаланылған газ ауаға шығарылады.



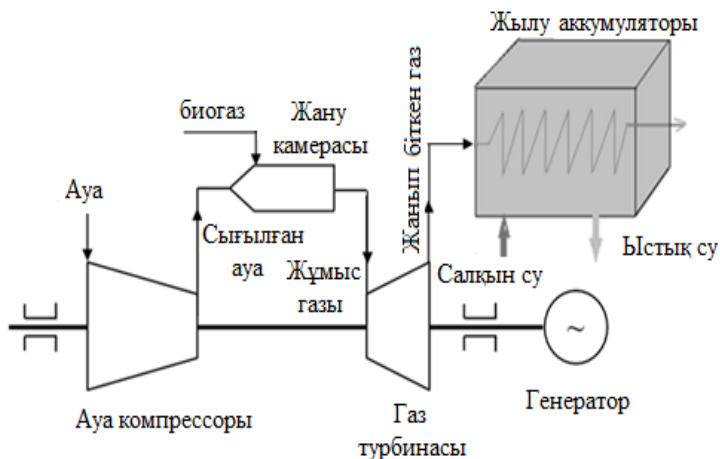
Сурет 2 – ГТҚ жұмыс сәті

Сонымен қатар, пайдалы жұмыс үшін пайдаланылмайтын энергия пайдаланылған газдармен шығарылады, сондықтан олар жоғары температура мен жоғары жылдамдыққа ие. Сондықтан бізді ең қажеттісі нәрсе-пайдаланылған газдың шығу температурасы. Қолданыстағы ГТҚ дизайнынан шығатын газдың шығыс температурасы негізінен қозғалтқыш компрессорының сығылу коэффициентіне байланысты екенін көруге болады [9]. Егер сіз пайдаланылған газдың шығысында 3-суретте көрсетілген жылу батареясын орнатамыз, содан кейін біз когенеративті режимде жұмыс істейтін гибриді ТГ жүйесін құрамыз (сурет 4).



Сурет 3 – Жылу батареясы

Нәтижесінде 1-суретте көрсетілген ГТҚ 4-суретте көрсетілген ГТҚ-ге айналады. Егер мұндай ГТҚ ТГ жүйесінде пайдаланылса, онда ТГ когенерация режимінде жұмыс істейді.

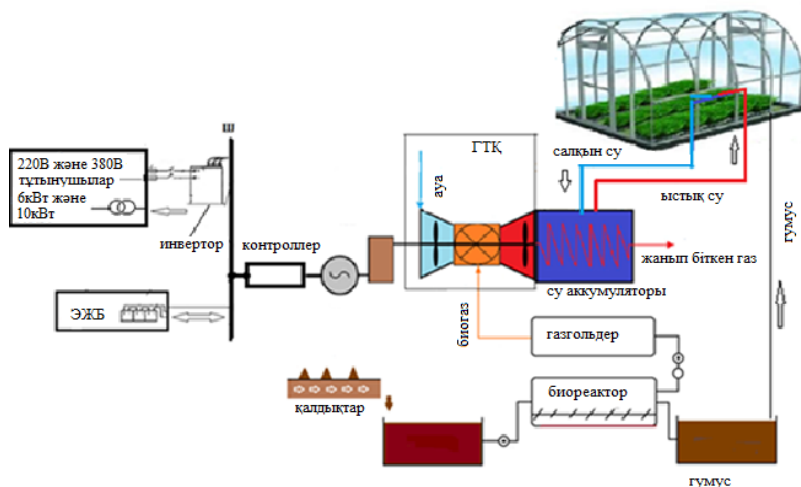


Сурет 4 – Жылу батареясы бар ГТҚ

Егер ГТҚ – да ауыл шаруашылығы және мал шаруашылығы қалдықтарынан алынған биогаз отын ретінде пайдаланылса, онда өнімді топырақ түріндегі қайталама қалдық материалды-гумусты аламыз[10].

Төменде биогазбен жұмыс істейтін ТГ гибриді жүйесінің құрылымдық схемасын аламыз. 5-суретте ГТҚ пайдаланылған газдардың шығысында жылу аккумуляторы орнатылғанын көруге болады, одан пайдалы жылу атап айтқанда жылыжай үшін жылу энергиясы алынады. ГТҚ білігін редуктор, генератор және контроллер арқылы жалпы тұрақты ток шинасына қосу гибриді ток жүйесін тарату желісіне қосуға мүмкіндік береді.

Біздің жағдайда модельдеу объектісі – жанармай биогаз болып табылатын ГТҚ негізінде жұмыс істейтін гибриді ТГ жүйесі. Модельдің мәні микрогазотурбиналық жүйенің «кіріс-шығыс» сипаттамасын есептеу күрделілігі болып табылады.



Сурет 5 – ТГ гибриді жүйесінің блок-схемасы

Жүйелердің жұмыс істеу процестерінің математикалық модельдерін құрудағы бастапқы ақпарат зерттелетін гибриді таратылған генерация (ГТГ) жүйесінің мақсаты мен жұмыс жағдайлары туралы мәліметтер болып табылады. Модельдеудің басында біз модельдеудің негізгі мақсатын анықтайтын ақпаратты алатын модельдеу объектісін нақты көрсетуіміз керек екені белгілі. Сонымен қатар, абстракция деңгейі жүйені зерттеуші модель арқылы жауап алғысы келетін сұрақтар шеңберіне байланысты және белгілі бір дәрежеде математикалық схеманы таңдауды анықтайды. ТГ гибриді жүйесінің математикалық моделін алгоритмдеуге айтарлықтай көмектеседі [11]. 5-суреттен ТГ гибриді жүйесі бір-біріне тәуелсіз жұмыс істейтін модульдерден тұратынын көруге болады. Бұл газгольдерін толтырумен байланысты V биогаз өндірісінің модулі ретінде қарастырылады. Екінші модуль электр қуатын P және жылу энергиясын $Q_{\text{теп}}(m, \Delta T)$ өндіреді, үшінші модуль пайдалы жылу энергиясын алу үшін қолданылады $Q_m(\Delta T)$. Гибриді таратылған генерация (ГТГ) жүйесін модельдеу кезінде кіріс әсерлері, сыртқы орта әсерлері E және жүйенің ішкі параметрлері тәуелсіз (экзогендік) айнымалылар болып табылады, олар векторлық формада сәйкесінше

$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ ал жүйенің шығыс сипаттамалары тәуелді (эндогендік) айнымалылар және векторлық $y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$ түрінде болады. ГТГ жүйесінің жұмыс істеу процесін уақыт өте келе K_p операторы сипаттайды, ол жалпы жағдайда экзогендік айнымалыларды сипаттың арақатынасы бар эндогендік айнымалыларға түрлендіреді.

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

K_i операторы эндогендік айнымалыларды экзогендік айнымалыларға түрлендіру кезінде олардың физикалық қасиеттерін көрсетеді. Біздің жағдайда K_i эксперименттік жолмен немесе осы айнымалылардың қасиеттері анықталған кестелерден бағаланады. K_i коэффициентінің мәнін бағалау зерттелетін объектіні модельдеу кезінде қандай болжам жасалғанына байланысты. Математикалық модельдеудегі болжамдар шешілетін есептің қойылуына және қажетті пайдаланылған нәтижеге байланысты екені түсінікті.

ТГ гибриді жүйесінің құрылымдық схемасынан мұндай дизайнмен бір уақытта іс жүзінде талап етілетін үш қажетті міндеттерді шешуге болатындығын көруге болады. Біріншісі – энергияға қол жетімділігі қиын өңірлерде тұтынушыға қажетті электр және жылу энергиясын өндіру, екіншісі-ТГ гибриді жүйесі қосылатын тарату желілерінің энергетикалық сипаттамаларын теңестіру, үшіншісі-агробъектілерді өнімді топырақпен қамтамасыз ету.

Осы ойлардың негізінде біз ГТГ математикалық моделін жасаймыз.

Жоғарыда айтылғандай, ТГ гибриді жүйесі үш сілтемеден тұрады. Шығыс кезеңі-биогаз $V(Q_M, \vec{y}(t))$ және гумус $\Gamma(\vec{y}(t))$ өндірісінің кезеңі.

Органикалық қалдықтардың кең класына биогаз өндіру процесінің математикалық моделін құрудың теориялық негізін қолдануға болады. Ол биогаздың түзілу жылдамдығын сипаттайды (V_c , м³/кг тәулік) көнді анаэробты өңдеудің технологиялық параметрлеріне байланысты.

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

мұндағы V_c (м³/кг) – көндегі органикалық заттардан биогаздың шекті шығымы; μ (м³/кг тәулік). Біз K_i көңінің түрін сипаттайтын коэффициентті енгіземіз. Бізге көң түрі қажет болғандықтан, кіріс параметрі мал және ауыл шаруашылығы қалдықтары $Q_M(K_i, x)$ осы сілтеменің математикалық моделі болады:

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

мұндағы $i = 1, 2, 3, \dots$

Екінші буын, бұл электр энергиясын алатын ГТҚ буыны $P(I, U)$ және пайдаланылған газ, яғни жылу энергиясы $Q_{\text{теп}}(m, T)$. Бұл сілтеменің теңдеуі:

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

Пайдалы жылу энергиясын алудың үшінші буыны из $(K_i,)$

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

Осылайша ТГ гибриді жүйесінің жұмысы үш теңдеумен сипатталады:

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

$$\frac{\partial}{\partial t} = k \text{ белгісін енгізейік.}$$

Сайып келгенде беріліс функциясы

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

мұндағы $Q_m(\Delta T)$ – пайдалы жылу, $Q_{\text{пол}}(\Delta T)$ – жалпы өндірілген жылу

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

Тендеулер (8) РГ гибриді жүйесінің математикалық моделі болады. Бұл жағдайда $Q_m = Q_{\text{жылу}}(m\Delta T)$ шығу газ өз кезегінде $Q_{\text{жылу}}(m\Delta T) = Q_m(\Delta T)$ выхлоп газ. Содан кейін $Q_m(\Delta T)$ пайдалы жылу энергиясы болып табылады. Сілтемелердің қасиеттерін сипаттайтын коэффициенттерді енгізейік, K_1 коэффициенттері-қалдықтардың құрамына байланысты, K_2 -газ турбиналы қозғалтқыштың тиімділігіне байланысты, K_3 – ауа компрессорының сығылу дәрежесіне байланысты. (8) – ден біз W беріліс функциясын ТГ үшін табамыз:

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

гибриді ТГ жүйесінің беріліс функциясы келесідей:

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

$Q_m(\Delta T)$ бағалау үшін ГТҚ моделі қажет болады. Осы модельдің көмегімен біз ГТҚ пайдаланылған газдың шығыс температурасының әрекетін бағалаймыз.

ГТҚ математикалық модельдерін құрудың көптеген жолдары бар. Модельдердің әр түрлі түрлері әр түрлі тәсілдерді қолдана отырып және әр түрлі мақсаттарда дамыды. Біздің жағдайда, ГТҚ математикалық моделі пайдаланылған газ температурасының ГТҚ қуатына тәуелділігін немесе турбинаның айналу жылдамдығымен пайдаланылған газ температурасының тәуелділігін анықтау үшін қажет. Өз кезегінде мұндай тәуелділік $V_c(y(t))$ биогазының көлеміне және $y(t)$ параметрлерінің қасиеттеріне байланысты. Біздің модельдің мақсаты жылу энергиясын бағалау болғандықтан $Q_{\text{жылу}}(T_2)$ пайдаланылған газдың бастапқы қалдықтарынан Q_m алынады және алынған $Q_m(\Delta T)$ пайдалы жылу, шегерілген $Q_{\text{жылу}}(T_2)$ мұндағы $Q_m(\Delta T) = T_1 - T_2$ мұндағы T_3 бұл атмосфераға шығарылатын газдың температурасы.

Осылайша, біздің математикалық моделіміз үшін температураны бағалау қажет T_2 жылу энергиясының $Q_{\text{жыл}}$ бастапқы қалдықтан алынған Q_m .

Осылайша, ГТҚ термиялық тиімділігін келесі өрнектен анықтауға болады:

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

мұндағы T_1, T_2 – турбинаның кірісі мен шығысындағы жұмыс денесінің (газдың) температурасы, сәйкесінше, турбинаның шығысындағы газдардың температурасын қарапайым арақатынас бойынша табуға болады:

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

мұндағы $\pi_k = p_{\text{кпр}} / p_{\text{шығ}}$ ауа компрессорының қысу коэффициенті, ол $P_{\text{шығ}}$ компрессордың артындағы қысымның қатынасы $P_{\text{кпр}}$ алдындағы қысым ретінде анықталады. Мысалы, қысу коэффициенті $\pi_k = 14$ және турбина алдындағы температурасы бар ГТҚ үшін:

$T_1 = 1300$ °C, оның артындағы температура шамамен келесідей болады:

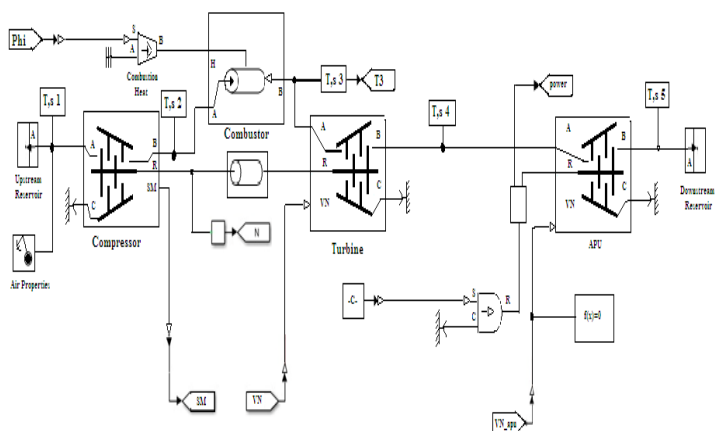
$$T_2 = \frac{T_1}{\pi_k^{0.25}} = \frac{1300}{14^{0.25}} = 672^\circ\text{C} \quad (13)$$

Осы шарттар үшін ГТҚ термиялық тиімділігі:

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

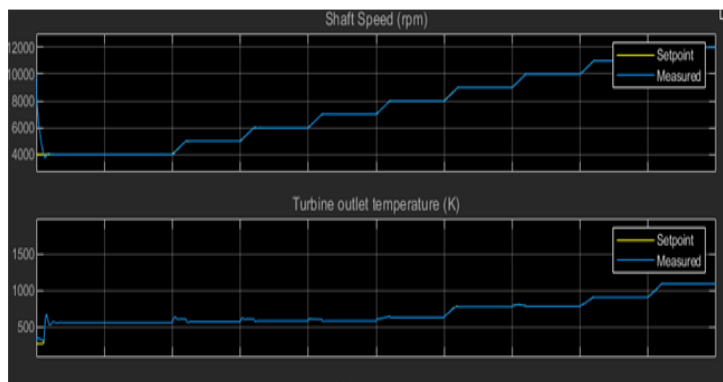
Қолданыстағы ГТҚ термиялық тиімділігі 40-тан 65 % – ға дейін, бірақ осы типтегі электр станцияларының нақты тиімділігі 35 % – дан аспайды. ГТҚ тиімділігінің салыстырмалы түрде жоғары емес мәндері шығатын газдардың құбырына шығарылатын жылудың айтарлықтай жоғалуына (жоғары температураға байланысты) және компрессорда ауаны сығуға жұмсалатын энергияның үлкен жоғалуына байланысты (ауаны сығу үшін суды сығуға қарағанда әлдеқайда көп энергия қажет).

Біз T_2 температурасын бағалауымыз керек. Сондықтан біз аталған мақсатта қолданылатын Simulink, MATLAB сияқты бағдарламада құрастырылған математикалық модельді пайдалана аламыз. 8-суретте ГТҚ құрылымдық схемасы көрсетілген [12].



Сурет 8 – Matlab Simulink-те жасалған құрылымдық схема

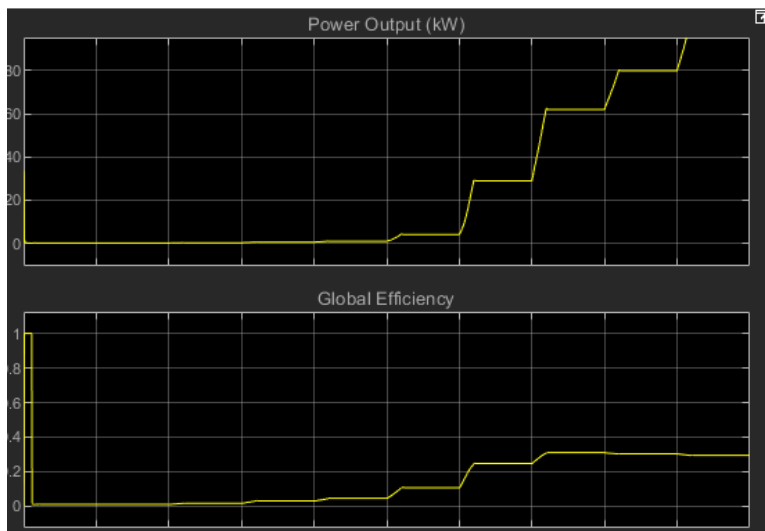
Осы модель негізінде біз жылу батареясына берілетін T1 Шығыс температурасын бағалаймыз. Көрсетілгендей теңдеу бұл температура және жылыжай шаруашылығына беріледі. Біз бұл температураны 10-суреттегі графиктер негізінде табамыз. Ол үшін ГТҚ кіріс параметрлері үшін $T=1000\text{K}$, $P=0,101\text{ МПа}$, біз ГТҚ шығыс параметрлерін табамыз.



Сурет 9 – Кіріс нәтижелері: $T_1=1000\text{ K}$, $P=0,101\text{ МПа}$, шығыс нәтижелері $T_2=1500\text{ K}$, $P=0,201\text{ МПа}$ болады

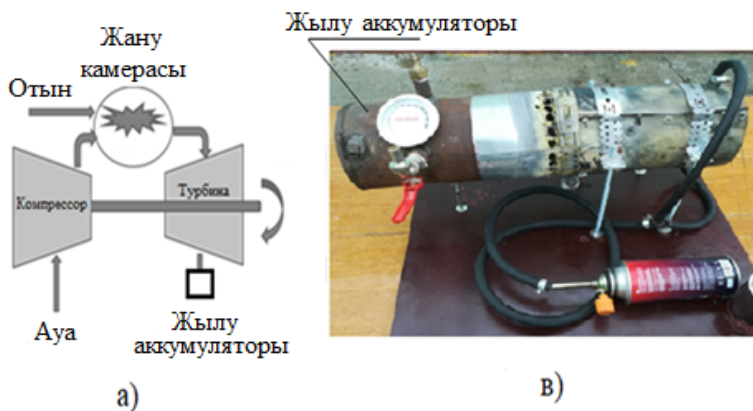
Графиктен T_2 температурасының тиісті қажетті мәнін таба аласыз. 9-ші суретте көрсетілген график бойынша берілген (10) формуланың берілу функциясы негізінде алынады.

Қуат пен тиімділіктен (12) формула бойынша ауа компрессорының қысу дәрежесін анықтаймыз.



Сурет 10 – Компрессордың тиісті қуаты мен тиімділігі

Төменде ТГ гибриді жүйесінде көрсетілген модельде жылу энергиясын өндіруді есептеу алгоритмін қарастырамыз (сурет 11, в). Модельдік ГТҚ техникалық деректері асинхронды генераторды таңдау кезінде оңтайлы шешім ретінде анықталды. Себебі құны бойынша асинхронды генераторлар арзан, сонымен қатар құрастыру өте оңай. Генератор ретінде біз АИР56А4 таңдаймыз, мұндағы қуат $p=0,12$ кВт, айналым саны $n=1500$ айн/мин, ток күші $I=0,5$ А, кернеу $U=240$ В.



Сурет 11 – Жалпы модельдік схема а) және эксперименттік модель ГТК в)

1л биогазды пайдаланған кезде тұрақты жұмыс сағатына 3,3 кВт электр энергиясын және бір уақытта 3500 ккал жылу өндірді. Электр және жылу энергиясын алу газ бен ауаның берілуімен бақыланады. Егер сіз 30л үлкен тұрмыстық цилиндрді қолдансаңыз, онда біз 30-35 сағаттық жұмыс циклімен шамамен 95 кВт электр энергиясын аламыз және жергілікті температураға байланысты 330х103 ккал жылу аламыз.

Бұл жағдайда жылу батареясының өлшемі 2х2х3 м болды (сурет 3). Егер пайдаланылған газдың температурасы 7000С болса, онда жылу батареясындағы жылу энергиясы формула бойынша есептеледі:

$$Q = cm(700C^0) \quad (15)$$

С суы үшін 4200 Дж/кг =бұршақ екенін ескерсек, жылу батареясындағы судың массасын есептеу қиын емес.

Жылу батареясының көлемі 12 м3. Ал ондағы судың массасы 14,4 кг құрайды.

$$Q_m(\Delta T) = \frac{4200\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \cdot 14,4\text{кг} \cdot 700C^0 = 42336000\text{Дж} = 42,336\text{МДж}$$

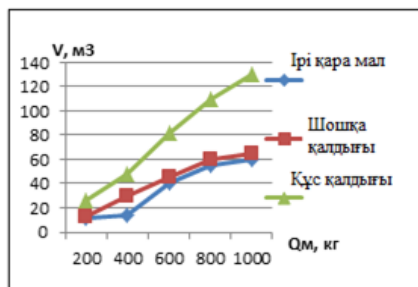
Төменде математикалық модельден алынған нәтижелер келтірілген.

Тәжірибе көрсеткендей, 1 м3 биогаздан шамамен 25 МДж жылу алуға болады (330 х 103 ккал жылу аламыз).

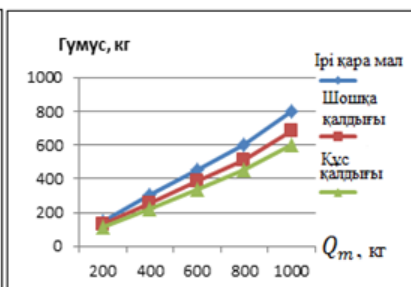
1 кестеде модельдік ГТҚ-де пайдаланылған газдан - пайдалы жылу энергиясын алуды бағалау үшін қолданылатын эксперименттік деректер келтірілген (сурет 7). Мұнда гумустың шығуы коэффициентіне байланысты Кі бастапқы қалдықтың анықтаушы түрі

Кесте 1 – Эксперименттен алынған нәтижелер

№	Ірі қара мал қалдығы, кг					Шошқа қалдығы, кг					Құс қалдығы, кг				
, кг	200	400	600	800	1000	200	400	600	800	1000	200	400	600	800	1000
Q _{тп} , Дж	300	600	900	1200	1500	300	600	900	1200	1625	1500	1800	2250	2750	3250
P (I, U), Вт	80	160	240	300	414	112	224	300	400	448,5	150	300	450	600	897
Гумус, кг	150	300	450	600	800	127.5	255	382.5	510	680	112.5	225	337.5	450	600
, м3/кг	12	24	40	55	60	13	30	45	60	65	26	48	82	110	130

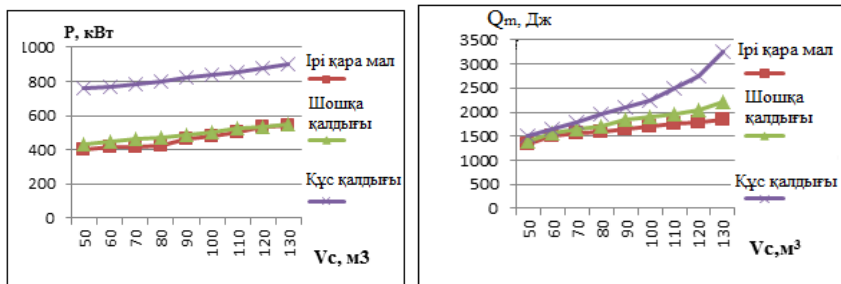


а)



в)

Сурет 8 – Биогаздың а) және гумустың в) бастапқы қалдық түріне тәуелділігі



а) б)
 Сурет 9 – Электр энергиясының а) және пайдалы жылуың б) биогаз көлеміне тәуелділігі

1-кестеден біз қажетті жылу және электр энергиясын таңдаймыз, содан кейін осы R және Q_m негізінде ГТҚ орнатамыз. Төменде ГТГ іске қосу алгоритмі берілген.

- 1-кестенің негізінде қажетті жылу Q_m ;
- Q_m негізінде өндірілетін V_c таңдаймыз;
- V_c негізінде тиісті ГТҚ таңдаймыз;
- Алгоритмнің соңғы кезеңінде Q_m бастапқы қалдық түрін таңдаймыз;
- Осы мәліметтер негізінде біз ГТГ-ді іске қосамыз.

Нәтижелер мен талқылаулар. ГТГ тарату желісіне қосылған кезде, әрбір есептік үшін орындалуы керек негізгі міндеттердің бірі-генератордың жүктемелерін бөлу. Бұл келесідей жүзеге асырылады:

- 1 ГТГ қуатын ықтимал генерациялау ГТҚ түрінен анықталады.
- 2 Белсенді қуаттың жоғалуы ықтимал өндірілген электр энергиясын тұтынушыға беру кезінде белсенді қуаттың жоғалуы анықталады.
- 3 Егер өндірілетін ГТГ электр энергиясының жалпы қуаты тұтынушының жүктемесінен кем болмаса, онда мұның бәрі ГТҚ есебінен жабылады.
- 4 Егер артық энергия болса, онда ол энергия жинақтау блогына (ЭЖБ) беріледі. ЭЖБ толығымен толтырылған жағдайда, ГТҚ қуаты тиісті шамаға азаяды.

- 5 Егер өндірілетін электр энергиясының жалпы ГТҚ қуаты тұтынушылардың жүктемесінен аз болса, қуат тапшылығы ЭЖБ есебінен жабылады.

Қорытынды. Электр және жылу энергиясын өндірудің тиімді, экологиялық таза технологияларын дамыту энергетикалық дағдарысты еңсеруге және қоршаған ортаның экологиялық жағдайын жақсартуға ықпал ететін қазіргі заманғы энергетиканы дамытудың басым бағыты болып табылады.

Біздің елімізде ауылшаруашылық, мал шаруашылығы және өсімдік шаруашылығы қалдықтарының үлкен қорының болуы бізді бұл қалдықтарды жылыжай шаруашылықтарына қажетті жылу, электр энергиясы мен өнімді топырақ алу үшін ЖЭК түрінде пайдалануға итермеледі. Жылу және электр энергиясын өндіретін таратылған генерациялау ТГ жүйесін жобалау үшін қалдықтардан алынатын биогазбен жұмыс істейтін ГТҚ пайдаланылды. Осындай ГТҚ негізінде гибридті жүйе деп аталатын гибридті жүйесінің дизайны ұсынылды. Ұсынылған гибридті ТГ көмегімен келесідей практикалық нәтижеге қол жеткізуге болады. Біріншіден, өзіндік құны төмен жылу және электр энергиясын алу үшін биоқалдықтарды пайдалану мүмкіндігі пайда болды. Екіншіден, ТГ гибридті жүйесінде жұмыс істейтін ГТҚ үшін отын ретінде биоқалдықтардан алынған биогазды пайдалану мүмкіндігі дәлелденді. Сонымен қатар, ұсынылған гибридті жүйенің тағы бір артықшылығы, яғни, ГТГ математикалық моделін құрудың жетілдірілген тұжырымдамасы өзінің өнімділігін көрсетті және бұл жүйеге патент алынды. Гибридті жүйенің құрастырылған математикалық моделі ТГ, өлшеу кезінде көрсетілген энергияның кіріс қалдықтарының $Q_m(\Delta T)$ пайдалы жылу энергиясына тәуелділігін бағалауға мүмкіндік берді. Мұндай бағалау үшін ТГ гибридті жүйесінің беріліс функциясы құрылды. Қажетті есептеу параметрлері MATLAB Simulink-те жасалған бағдарламаның көмегімен анықталды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 Тулеметова, А. С., Полежаева, И. С., Есиркепова, А. М. Эффективное использование и перспективы развития нетрадиционных источников энергии Казахстана / Вестник КазНУ: Серия экономическая, 2014. – № 4(104). – С. 70-75.

2 Нурғалиев, Д. Потенциал «Зеленого роста» / «Казахстанская правда», 4 июля 2014 года. – С. 82.

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

4 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.

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 24.11.2022г., 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 **Рустамов, Н. Т., Конусов, Б. Р., Рустамов, Е. Н.** Создание гибридного источника энергии / Вестник МКТУ им. А. Ясауи, № 1(81), 2013, с.69-72.

8 **Даменов, Е. А., Рустамов, Н. Т.** Создание гибридных энергетических систем / Техника. Технологии. Инженерия, 2018.-№2. – С.33–35.[Электронный ресурс] – URL <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3222/>.

9 **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.

10 **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» (ISJAE) – 2019. – № 28-33 (312-317), с. 73–85.

11 **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.

REFERENCES

1 **Tulemetova, A. S., Polezhaeva, I. S., Esirkepova, A. M.** E`ffektivnoe ispol'zovanie i perspektivy` razvitiya netradicionny`kh istochnikov e`nergii Kazakhstana [Effective use and prospects for the development of non-traditional energy sources in Kazakhstan] / Vestnik KazNU: Seriya e`konomicheskaya. – 2014. – № 4 (104). – P. 70 –75.

2 **Nurgaliev, D.** Potenczial «zelenogo rosta» [Potential of «Green Growth»] / «Kazakhstanskaya pravda», 4 iyulya 2014 goda. – p. 8.2.

3 **Meirbekova, O. D., Rustamov, N. T.** K voprosu sozdaniya gibridny`kh e`nergeticheskikh sistem [On the issue of creating hybrid energy systems]. // Zhurnal «Problemy` informatiki i e`nergetiki», Tashkent, 2022, №3, P.83–90.

4 **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.– P. 29–37.

5 Pat. № 7970 Respublika Kazakhstan. Gibridnaya sistema dlya vy`rabotki teplovoj i e`lektricheskoy e`nergii [Hybrid system for generating thermal and electrical

energy] / N. T. Rustamov; A. T. Mejrbekov; N. R. Avezova; O. D. Meirbekova; Sh. A. Babakhan; zaregistrirovan RK 24.11.2022g., opubl. 24.11.2022g.

6 Pat. # 29833 Respublika Kazakhstan. Spособ vsesezonnogo e`lektrosnabzheniya tepliczy` iz al`ternativnogo istochnika e`nergii [Method of all-season power supply to a greenhouse from an alternative energy source] / N. T. Rustamov; A. T. Mejrbekov; D. Meirbekova; zaregistrirovan RK 29.10.2021., opubl 04.01.2022g.

7 **Rustamov, N. T., Konusov, B. R., Rustamov, E. N.** Sozdanie gibridnogo istochnika e`nergii [Creation of a hybrid energy source] / Vestnik MKTU im. A. Yasaui, # 1(81), 2013, P. 69-72.

8 **Damenov, E. A., Rustamov, N. T.** Sozdanie gibridny`kh e`nergeticheskikh sistem [Creation of hybrid energy system] / Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya, 2018.-#2.-S.33-35. [Electronic resource] – URL <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3222/>.

9 **Stennikov, V. A.** Czentralizovannaya i raspredelennaya generacziya - ne al`ternativa, a integracziya [Centralized and distributed generation - not an alternative, but integration] / V.A. Stennikov, N.I. Voropaj //Izvestiya RAN. E`nergetika. – 2014. – # 1. – P. 64-73.

10 **Shheklein, S. E., Dubinin, A. M.** Sravnitel`ny`j analiz udel`ny`kh pokazatelej kogeneraczionnoj gazoturbinnnoj 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.

11 **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.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

**О. Д. Меирбекова¹, Н. Т. Рустамов², А. Н. Бергузинов³,
А. Г. Калтаев⁴*

^{1,2}Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Республика Казахстан

^{3,4}Торайғыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан

Принято к изданию 18.09.23.

СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В данной работе впервые рассмотрен вопрос, связанный с созданием гибридной распределенной системы генерации, работающей на газотурбинном двигателе, используемом на биогазовом топливе из отходов животноводства и сельского хозяйства. Доказана возможность использования биоотходов для получения тепловой и электрической энергии с низкой себестоимостью, а также возможность использования биогаза, полученного из биоотходов, в качестве топлива для ГТУ, работающего в гибридной системе РГ. Было отмечено, что при построении гибридной распределенной системы генерации на базе газотурбинного двигателя (ГТУ) в результате можно получить не только тепло и электричество, но и столь необходимый продукт в тепличных хозяйствах, то есть перегной. Были рассмотрены проблемы, связанные с трудностями в управлении гибридными энергетическими системами, работающими на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также недостатки при использовании этих систем. Учитывая преимущества и недостатки этих систем, было предложено, что для создания гибридных энергетических систем выгодно использовать газотурбинные двигатели (ГТУ) и приведена схема установки, принцип ее работы. Приведена математическая модель управления гибридной распределенной энергией. Необходимые вычислительные параметры были определены с помощью программы, созданной в MATLAB Simulink.

Ключевые слова. Биогаз, газотурбинный двигатель, региональная генерация, математическая модель, гибридная система, управление.

**O. D. Meirbekova¹, N. T. Rustamov², A. N. Berguzinov³, A. G. Kataev⁴*

*^{1,2}Akhmet Yassawi International Kazakh–Turkish University,
Turkistan, Republic of Kazakhstan*

^{3,4}Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

Accepted for publication on 18.09.23

CREATION OF A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM OPERATING ON THE BASIS OF A GAS TURBINE ENGINE

In this work, for the first time, the issue was considered related to the creation of a hybrid distributed generation system operating on a gas turbine engine, which uses biogas obtained from animal husbandry and agricultural waste. With the proposed hybrid DG, the following problems that give practical results are proved, that is, the possibility of using bioweapons to obtain heat and electricity at a low cost, and the possibility of using biogas obtained from bio-waste as fuel for GTE operating in a hybrid DG system. It was noted that when a hybrid distributed generation system was built on the basis of a gas turbine engine (GTE), as a result, it was possible to obtain not only heat and electricity, but also a product that is so necessary in greenhouse farms, that is, humus. Issues related to the difficulties in managing hybrid energy systems operating on the basis of renewable energy sources were considered, as well as disadvantages when using these systems. Taking into account the advantages and disadvantages of these systems, it was proposed that it is more profitable to use gas turbine engines (GTE) to create hybrid power systems, and the scheme of the unit, the principle of its operation were given. A mathematical model of Hybrid Distributed Energy Management is given. The necessary calculation parameters were determined using the program developed in MATLAB Simulink.

Keywords. Biogas, gas turbine engine, regional generation, mathematical model, hybrid system, control.

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 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

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«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