

Методы количественной оценки эффективности использования плазменного воспламенителя твердого топлива

В.Е. Мессерле^{1,2}, А.Б. Устименко³, А.О. Лаврищев^{2,4}, М.К. Нугман^{2*}

¹Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

³Национальная нанотехнологическая лаборатория, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

⁴НИИ экспериментальной и теоретической физики, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты теоретического исследования методик по определению количественной оценки эффективности использования плазменного воспламенителя твердого топлива на тепловых электростанциях (ТЭС). В период газового кризиса и мировой тенденции сокращения углеродного следа применение плазменных технологий в энергетике приобретает новый виток развития. В мировой теплоэнергетике при растопке пылеугольных котлов и подсветке пылеугольного факела используют природный газ или топочный мазут. Использование плазменного воспламенителя энергетических углей позволяет заменять дорогой нефтяной продукт дешевым углем на ТЭС. Для применения ресурсосберегающего энергетического плазматрона в энергетике стоит вопрос оценки его количественной эффективности, эколого-экономических преимуществ по сравнению с традиционными технологиями. В статье рассмотрены методы количественной оценки эффективности, применимые для ТЭС. Главной задачей исследования является разработка методики и утверждение норм с целью дальнейшей стандартизации работы плазматрона с намерением коммерциализации указанной технологии.

Ключевые слова: плазменная технология, энергетический анализ, энтропийный анализ, воспламенение твердого топлива, нормирование, стандартизация энергетике

1. Введение

Нормирование и стандартизация являются средствами регулирования цикла жизнедеятельности предприятия, управления качеством, мониторинга и контроля производства. По своей сущности данные инструменты относятся к административным методам регулирования и способствуют коммерциализации научных разработок и их социализации. Для разработки стандартов чаще всего применяют данные, полученные посредством методов количественной оценки. Единой классификации методов количественной оценки эффективности в настоящее время не существует. Чаще всего для анализа эффективности теплоэнергетики применяют методику расчета удельных расходов топлива и термодинамический анализ.

Показатели вышеуказанных анализов условны и точный расход топлива может быть установлен

некорректно, что может привести к искажению данных по тепловой, электрической энергии, и, как следствие, к неточному вычислению реальной себестоимости продукции – тепловой энергии [1].

Повышение эффективности технологий, модернизация, комбинирование и создание «ноу-хау» в теплоэнергетике неминуемо ведут к потребности анализа актуальности данных изменений посредством расчетов количественных показателей. Выделить можно пять основных методов расчета эффективности, применимых в теплоэнергетике, – «квintет Э теплоэнергетики»: энтропийный, энергетический, экономический и экологический. Выделяют классические показатели эффективности: КПД-брутто преобразования тепловой энергии, коэффициент использования тепловой энергии топлива, коэффициент энергоотдачи (за срок службы), энергетический КПД, удельный расход топлива (на единицу тепловой или электрической энергии).

**Ответственный автор*
E-mail: nugmanmarina@gmail.com

2. Анализ методов эффективности

Теоретически эффективность двигателей, тепловых машин и тепловых аппаратов в теплосистемах анализируется техническими показателями: электрическим, тепловым и общим КПД, вычисленными по расходу топлива B при номинальных электрической N и тепловой Q мощности, Q_H^p низшей теплоте сгорания рабочей массы топлива [1]. Данный способ вычисления эффективности также называют физическим:

$$\eta_e = \frac{N}{(BQ_H^p)}; \quad \eta_T = \frac{Q}{(BQ_H^p)}; \quad \eta_o = \frac{(Q+N)}{(BQ_H^p)}. \quad (1)$$

В реалиях рассмотрения термодинамических процессов в условиях циклов необходимо проанализировать тепловую эффективность, используя законы термодинамики, посредством получения работы и теплоты низкого потенциала (НП) за счет теплоты высокого потенциала (ВП) на примере идеального цикла Карно [1]. Работу тепловых электростанций оценивают с применением энергетической эффективности, полученной из первого закона термодинамики.

Для повышения эффективности плазменного воспламенения твердых топлив на ТЭС [2-4] разработана плазменно-топливная система (далее – ПТС), представленная на рис. 1. Из рисунка видно, что аэрозоль (угольные частицы и воздух) подается в ПТС, в которой при взаимодействии факела плазматрона из исходного низкосортного энергетического угля образуется высокорекреационное двухкомпонентное топливо (горючий газ и коксовый остаток). Данное высокорекреационное двухкомпонентное топливо, нагретое до высокой температуры, самовоспламеняется на выходе из ПТС в топку при смешении со вторичным воздухом. При этом для растопки пылеугольного котла не требуется дополнительное высокорекреационное топливо (топочный мазут или природный газ).

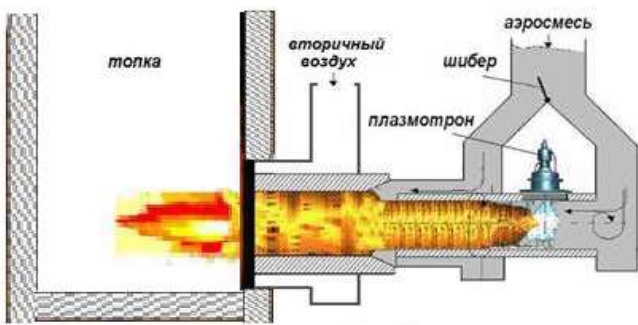


Рис. 1. Плазменно-топливная система для воспламенения твердых топлив.

С целью исследования эффективности плазменного воспламенения твердых топлив рассмотрим универсальную методику расчета тепловой эффективности, применимую к любым установкам, которая выражается посредством расчетов удельного расхода теплоты через работу и интервалы температур верхнего и нижнего циклов T_1 и T_0 [5-7]:

$$\bar{q} = \frac{T_0}{(T_1 - T_0)} > 1. \quad (2)$$

3. Эксергетический анализ

Одним из критериев оценки энергетической системы является эксергетическая производительность, которая основана на втором законе термодинамики. Эксергия – предельное значение энергии, которое может быть полезным образом использовано в термодинамическом процессе с учетом ограничений, накладываемых законами термодинамики [8]. Эксергетический анализ – это анализ, позволяющий получить показатели эффективности, которые дают точное представление о том, насколько фактическая производительность приближается к идеальной и более четко, чем энергетический анализ, определяют причины и локализацию термодинамических потерь.

Удельный расход теплоты в комбинированном цикле Карно на ТЭС с любым типом двигателя, также известный как эксергетический анализ, представлен ниже, где ex – эксергия [1]:

$$\bar{q}_p = \frac{1}{\eta_k} = \frac{Q_1}{(N + exQ_2)}, \quad (3)$$

$$\bar{q}_T = \frac{(1 - \eta_o)}{1 - \eta_o} = \frac{exQ_2}{(1 - \frac{N}{Q_1})} = \eta_H \bar{q}_p, \quad (4)$$

$$\eta_H = \frac{exQ_2}{Q_2} = \frac{1 - 2T_0}{(T_B + T_0)}, \quad (5)$$

где: q_p – удельные расходы теплоты отдачи работы; q_T – удельные расходы теплоты отдачи теплоты; Q – тепловая мощность или потребление теплоты; N – электрическая мощность.

В современном мире термин эксергия (от греч. ex – внешний, $ergos$ – работа), введенный в 1953 году Зороном Рангом для обозначения технической работоспособности [9, 10], получил широ-

кое применение в таких сферах, как химия, геология, экономика, инженерия, биология, а также в информационно-измерительных системах и сельском хозяйстве. Основное определение эксергии плазменной технологии было описано в работах «Plasma Technologies of Solid and Gaseous Fuels Processing, Plasma-Fuel Systems Utilization for Ecological and Energy Efficiency of Thermal Power Plants» [11-12].

Эксергетический анализ позволяет оценить качество энергии, рассчитать эффективность работы отдельного узла. Для сравнения анализов проведем вычисления показателей тепловой эффективности при традиционном сжигании и с применением ПТС (твердое топливо – экибастузский уголь зольностью 40 %, по исходным данным для проектирования СПВ для безмазутной растопки котлоагрегата ПК-39 Аксу ТЭС).

Анализируя результаты расчетов, представленные таблице 1, можно сделать вывод, что эксергия теплоты при плазменном воспламенении твердого топлива выше на 14 %, что доказывает эффективность ПТС.

4. Энтропийный анализ

Еще одной методикой количественной оценки эффективности является энтропийный анализ энергетических потерь и накопленной статистической информации о термодинамической эффективности в определенный период времени – энтропийно-статистический анализ [4]. Энтропия (S) – это количественная мера необратимо-

сти рассеивания энергии. Энтропийный анализ или усовершенствованный метод Клаузиуса, основанный на системе коэффициентов эксергетических потерь, рассчитываемых на входе в энергетическую установку [6], имеет смысл применять только с того момента, когда появляется теплота, то есть вычисление эксергии теплоты необходимо производить тогда, когда установка куда-либо отдает полезно используемую эксергию теплоты.

Для расчета энтропии необходимо определить эксергетические потери. При расчете эксергетических потерь от эксергии теплоты, введенной в установку, остается реальная работа или эксергия отданной потребителю теплоты, или то и другое вместе.

Эксергетические потери узла – где D (6) – полный коэффициент эксергетических потерь – представлены ниже (6):

$$\psi_i = \sum_{i=1}^n \psi_i = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{W} = T, \tag{6}$$

$$D = T_{o.c.} \sum \Delta S = T_{o.c.} \left(\sum_{i=1}^n G_i^y S_i^y - \sum_{i=1}^m G_i^B S_i^B \right) + Q_{o.c.}, \tag{7}$$

где: $G_i^y S_i^y$ – расход среды и энтропия i-го потока на выходе из узла; $G_i^B S_i^B$ – расход среды и энтропия i-го потока на входе в узел; $Q_{o.c.}$ и $T_{o.c.}$ – теплота, передающаяся окружающей среде, и сама температура окружающей среды; ψ_i – коэффициент эксергетической потери i-го узла; W – превратимая энергия, она же продукция, где (8) является тождеством эксергетического баланса:

Таблица 1. Сравнительный расчет эксергии

Технические показатели	Традиционное сжигание твердого топлива	Плазменное воспламенение твердого топлива
B – расход топлива		2000 кг/ч
N – электрическая мощность котла:		200 МВт
N _п – электрическая мощность плазматрона	-	100 кВт
Q – тепловая мощность котла	2000 кВт	2000 кВт
Q _{н^p} – низшая теплота сгорания рабочей массы топлив	4000 ккал/кг	4000 ккал/кг
T – температура сгорания	1400 К	2000 К
T _о – температура окружающей среды,		295 К
η _б – КПД по выработке теплоты брутто		0,911
Потребление теплоты высокого потенциала Q ₁ = N/η _{экс} = Q/η _б	200 МВт/0,911 = 182,2 МВт	
η _н – Термический КПД «нижнего» цикла по (4)	1-2*295 К/(1400 К + 295 К) = 0,652	1-2*295 К/(2000 К + 295 К) = 0,743
Эксергия теплоты exQ = Q*η _н	2000 кВт*0,652 = 1304 кВт	2000 кВт*0,743 = 1486 кВт

$$W'' = W_{эл} + ex''; \quad W'' = W' - \sum_{i=1}^n D_i, \quad (8)$$

где: $W_{эл}$ – выработанная электрическая энергия, а ex'' – эксергия теплоты, отданной потребителю;

W' – эксергия, подведенная к аппарату теплоты или вводимая в установку энергия, она же организованная энергия [4, 5].

При энтропийном анализе также учитывается эксергетическая потеря, вызванная переходом организованной энергии в теплоту:

$$D_{o.c.} = T_{o.c.} \Delta_i S, \quad (9)$$

где ΔS – изменение энтропии системы.

Полный коэффициент эксергетических потерь установки имеет вид (6). Идеально работающий узел – $\psi_{oi}=0$. Минимизация ψ_{oi} не означает экономию расхода превращения энергии в работу, так как роль в полном термодинамическом анализе установки невелика, но может выступать как в доле с погрешностью, которую можно проанализировать [13].

Для исследования энтропийного метода эффективности необходимо изучить термодинамическую оценку эффективности технической системы, которая основывается на определении двух КПД – собственного цикла термического (10) и внутреннего (11):

$$\eta_T = \frac{q_u}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l_u}{l_1}; \quad \eta_i = \frac{l_u^o}{q_1}. \quad (10)$$

Введение относительного внутреннего КПД дает возможность оценить необратимый и обратимый циклы и получить потери, имеющие место в процессах, совершаемых собственно рабочим телом в цикле:

$$\eta_{oi} = \frac{l_u^o}{l_u}. \quad (11)$$

Для оценки количественной эффективности в реалиях необходимо учитывать потери, обусловленные необратимостью тепловых, механических, химических и электрических процессов через эффективный КПД $\eta_{э}$, как отношение количества энергии, отданной внешнему потребителю, к количеству энергии, подведенной к установке, или же долю выделенной в системе теплоты, превращенной в полезную работу $l_{пол}$ [4]:

$$\eta_{э} = \frac{l_{пол}}{q_1}. \quad (12)$$

В соответствии с уравнением Карно и Гюи-Стодола, энтопия выражается через отношение потери работоспособности Δl и температуры окружающей среды $T_{o.c.}$ (9):

$$\Delta S = \frac{\Delta l}{T_{o.c.}}. \quad (13)$$

Таким образом, производство энтропии (величины недополученной работы) в вопросе эффективности энергетических установок определяет потери эксергии (производства энтропии) и пытаются их минимизировать:

$$\Delta l = T_{o.c.} \sum_{i=1}^n \Delta S_i. \quad (14)$$

Теоретическая величина потери работоспособности Δl , рассмотренная Клазиусом, Гюи и Стодолом, определяется как реальное значение потерь работы и работоспособности установок теплоэнергетики. Энтропийный метод необходим для анализа потери эксергии (производства энтропии) и является инструментарием для совершенствования узла и/или теплоэнергетической системы в целом, который можно применить к проведению анализа плазматрона как узла для вычисления энтропии перехода.

5. Эксергоэкономический анализ

Эксергетический метод определяет эксергию потоков и в отличие от энтропии связан с параметрами окружающей среды, однако, по мнению исследователей, является более сложным для расчетов и более пригодным для оценки эффективности в энергетике. Эксергия облегчает оценку производительности тепловой электростанции, так как позволяет определить тип, величину, местоположение потерь и отходов [7] и является более приемлемым методом для оценки количественной эффективности плазменного воспламенителя топлива, который по исследованиям, проведенным сотрудниками РГП «Институт проблем горения» Комитета науки МНВО РК, показал повышение эффективности работы ТЭС [2].

Для количественного расчета эффективности возникла необходимость в сочетании эксергетического, энергетического, экономического и экологического анализов, т.е. в совокупности «4-Е-анализа», как инструментария инвестиционной привлекательности и рентабельности энергетической экономики [14], а энтропийный анализ, основанный на данных об энергетических потерях, дает информацию о термодинамической эффек-

тивности в определенный период времени после запуска проекта.

Эксергоэкономика – это междисциплинарная инженерная отрасль, в которой каждое системное оборудование оценивается термодинамически с помощью анализа эксергии и одновременной оценки на основе экономических основ. Эта специальная методология используется для проектирования с целью формирования энергоэффективных и рентабельных систем, которые недоступны при проведении индивидуального энергетического, эксергетического или любого другого экономического анализа [15]. Эксергетический метод имеет связь между технико-экономическими характеристиками энергетической системы. Экономические исследования на базе эксергии охватывают широкий круг вопросов – от оптимизации тарифов на энергию до цен на установку в целом [16, 17].

Эксергоэкономический анализ – это комплексный подход, включающий энергию и стоимость потоков. Применение эксергоэкономического метода к системе преобразования энергии показывает взаимосвязь между термодинамической неэффективностью и стоимостью продукта. В таком случае баланс затрат составляет [13]:

$$C_p = C_F + Z_T \quad \text{или} \quad C_p Ex_p = C_F ex_F + Z_T, \quad (15)$$

где: C_p и C_F – нормы затрат на единицу эксергии для потоков продукта и топлива;

Z_T – это общая норма затрат, связанная с капитальными вложениями, затратами на эксплуатацию и техническое обслуживание.

Норма затрат на ликвидацию эксергии:

$$C_D = C_F ex_D. \quad (16)$$

Таким образом, эксергоэкономический фактор f имеет вид:

$$f = \frac{Z_T}{(C_D + Z_T)}. \quad (17)$$

Относительная разница в затратах r :

$$r = \frac{(C_p - C_F)}{C_F}. \quad (18)$$

Таким образом, эксергетический метод и эксергоэкономический анализ можно объединить в единый метод – эксергоэкономикку – уникальный

метод, основанный на эксергии, который определяет и вычисляет местоположение, величину, причины и затраты термодинамической неэффективности в тепловой системе [14]. Реальной неэффективностью в такой системе являются разрушение эксергии и потеря эксергии. Сравнивая инвестиционные затраты и затраты на уничтожение избыточной энергии, исследователь или проектировщик может решить для каждого важного компонента системы – приведет ли (а) повышение эффективности за счет инвестиционных затрат или (б) снижение инвестиционных затрат за счет эффективности к увеличению затрат эффективность системы в целом. Сравнение необходимо для лучшего понимания взаимодействия между различными компонентами (путем разделения инвестиционных затрат и затрат на уничтожение эксергии на эндогенную и экзогенную части) и реальным потенциалом для улучшения системы (путем разделения инвестиционных затрат и затрат на уничтожение эксергии на неизбежные и предотвратимые части). Данный анализ дает информацию при проектировании экономически эффективных энергетических систем, выступая в качестве метода снижения затрат с использованием эксергии, который связывает затраты с потерями эксергии. Цель данного анализа – рассчитать отдельно затраты на продукт системы [18-20, 13].

Эксергоэкономические анализы подразделяется на два класса: методы эксергоэкономического учета, направленные на определение себестоимости потоков продукции, оценку компонентов и систем и интерактивную оптимизацию энергетических систем; а также математические подходы имеют целью оптимизацию системы в целом и расчет предельных издержек [15, 21]. Расчеты эксергоэкономических параметров плазменного воспламенителя ранее не публиковались, исследования продолжаются на базе Института проблем горения».

6. Методика проведения эксергоэкономического анализа плазменного воспламенения твердого топлива

Эксергоэкономический анализ – это методология, используемая для оценки термодинамических и экономических характеристик системы и узла. Данный анализ помогает идентифицировать и количественно оценить источники потерь энергии и связанные с затратами факторы в данном процессе.

Чтобы выполнить эксергоэкономический анализ плазменного воспламенения твердого топлива, необходимо предпринять следующие шаги:

1. Определение границ рассматриваемой системы, включая процесс плазменного воспламенения твердого топлива и связанные с ним компоненты. Электрическая дуга, стабилизированная на оси электроразрядной камеры вихревым потоком газа, является на сегодня наиболее эффективным и практически единственным средством нагрева газообразных сред до температур порядка 2000-4000 К посредством плазмотрона. Сбор данных исследований, габаритов установки в дальнейшем послужит в качестве эталонов для составления нормативно-технической документации к плазменному воспламенению твердого топлива [22-23].

2. Проведение эксергетического анализа, необходимого для определения входных и выходных данных системы. Эксергия как показатель качества или полезности энергии, учитывающий как количество, так и качество энергетических потоков. Посредством проведенных ранее исследований установки необходимо определить и количественно оценить потери энергии, возникающие в системе.

3. Выполнить анализ затрат для оценки экономических аспектов процесса плазменного воспламенения топлива. Рассмотреть капитальные затраты, эксплуатационные расходы и расходы на техническое обслуживание, связанные с системой и ее компонентами. Полагаясь на Приказ Министра национальной экономики РК от 5 декабря 2014 года № 129 «Об утверждении Правил разработки или корректировки, проведения необходимых экспертиз инвестиционного предложения государственного инвестиционного проекта, а также планирования, рассмотрения, отбора, мониторинга и оценки реализации бюджетных инвестиций и определения целесообразности бюджетного кредитования» [24], провести работу по разработке технико-экономического обоснования проекта «Плазменный воспламенитель твердого топлива». Для полномасштабной оценки количественной эффективности провести маркетинговый, технико-технологический, экологический, институциональный, финансово-экономический, социальный анализы и анализ рисков.

4. Провести эксергоэкономический анализ, объединив результаты анализа эксергии и затрат для оценки эксергоэкономической эффективности системы, основанный на распределении затрат на уничтожение эксергии и передачу эксергии внутри системы для определения компонентов или процессов, которые вносят наибольший вклад в общую стоимость системы, и потери энергии при плазменном воспламенении топлива на ТЭС.

5. Провести оптимизацию, основываясь на результатах эксергоэкономического анализа, определить возможности для повышения эффективности системы и снижения затрат. Это может включать изменение конструкции системы, выбора компонентов или эксплуатационных параметров для максимизации эксергетической эффективности и минимизации общих затрат.

7. Заключение

В конкретном контексте плазменного воспламенения твердого топлива на ТЭС эксергоэкономический анализ направлен на оценку термодинамической эффективности и экономической целесообразности использования плазмы в качестве источника воспламенения для воспламенения и сжигания топлива. Данный анализ оценивает потери эксергии и затраты, связанные с получением плазмы, взаимодействием плазмы с топливом и другими соответствующими процессами. Анализ позволит получить представление об экономической эффективности плазменного воспламенения топлива, а также подготовить нормативно-техническую документацию по оценке количественной эффективности, что поможет лицам, принимающим решения, определить его конкурентоспособность по сравнению с другими методами воспламенения твердого топлива с использованием топочного мазута и природного газа.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке КН МНВО РК (номер гранта BR 21882017).

Список литературы

- [1]. Пиир А.Э., Кунтыш Б., Верещагин А.Ю. Методика расчета тепловой эффективности ТЭС с различными тепловыми двигателями // Энергетик. – 2012. – № 1. – С.60-64.
- [2]. Messerle V.E., Ustimenko A.B. Thermodynamic and kinetic modeling and experiment on plasma ignition of pulverized high-ash coal // Applications in Energy and Combustion Science. – 2024. – Vol. 17. – P.100248.
- [3]. Messerle V.E., Ustimenko A.B., Karpenko E.I., Lavrichshev O.A. Plasma preparation of coal to combustion in power boilers // Fuel processing technology. – 2013. – Vol. 107(SI). – P.93-98.
- [4]. Мессерле В.Е., Орынбасар М.Н., Устименко А.Б. Экологическая эффективность плазменной технологии использования твердых топлив // Некоторые проблемы декарбонизации и альтернативной энергетики. – Алматы: Дарын, 2024. – 244 с.

- [5]. Байрашевский Б.А., Борушко Н.П., Шавельзон М.И. Оценка эффективности когенерационной установки с позиций адекватных показателей мини-ТЭЦ // Энергия и менеджмент. – 2005. – № 4. – С.14-17.
- [6]. Гохштейн, Д.П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. – М.: Энергия, 1964 – 368 с.
- [7]. Дыскин Л.М., Морозов М.С. Современные методы термодинамического анализа в теплоэнергетике. – Н.Новгород: ПЦ ННГАСУ, 2018 – 133 с. ISBN 978-5-528-00275-0
- [8]. Баженов А.И. Энтروпийный метод оценки эффективности использования энергоресурсов // Энергетика и электротехника. – 2009. – С.1-8.
- [9]. Сидорова Ю.С., Плотников В.В. Эксергия как единая мера // Вестник КГЭУ. – 2010. – № 3(6). – С.24-31.
- [10]. Амерханов Р.А., Гарькавый К.А. Основы эксергетического и энергетического анализа производства продукции животноводства // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2003. – № 3. – С.63-64.
- [11]. Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma Technologies of Solid and Gaseous Fuels Processing. In: Progress in Exergy, Energy, and the Environment (edited by Ibrahim Dinçer, Adnan Midilli, Haydar Kucuk) // Springer. – 2014. – P.977-990.
- [12]. Messerle V.E., Ustimenko A.B. Plasma-Fuel Systems Utilization for Ecological and Energy Efficiency of Thermal Power Plants. In: Progress in Exergy, Energy, and the Environment (edited by Ibrahim Dinçer, Adnan Midilli, Haydar Kucuk) // Springer. – 2014. – P.961-976.
- [13]. Erzen S., Açıkkalp E., Hepbasli A. 7 - Off-grid hybrid systems based on combined conventional and unconventional technologies: Design, analyses, and illustrative examples // Hybrid Technologies for Power Generation. Hybrid Energy Systems. – 2022. – P.189-218.
- [14]. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M-J. Thermal design and optimization // John Wiley & Sons. – 1996 – P.560.
- [15]. Abusoglu A., Kanoglu M. // Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol.13. – P.2295-2308.
- [16]. Агапов Д.С. Структурная и параметрическая оптимизация систем промышленного тепло-технического и технологического оборудования. – СПб, 2017 – 340 с.
- [17]. Ahmadi M.H., Alhuyi Nazari M., Sadeghzadeh M. Thermodynamic and economic analysis of performance evaluation of all the thermal power plants: A review // Energy Science & Engineering. – 2019. – Vol. 7 – P.30-65.
- [18]. Sciubba E., Wall G. A brief commented history of exergy from the beginnings to 2004 // International Journal of Thermodynamics. – 2007. – Vol.10(1). – P.1-26.
- [19]. Tsatsaronis G. Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics // Energy. – 2007. – Vol 32(4). – P.249-253.
- [20]. Амерханов Р.А. Вопросы оптимизации технических систем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия технические науки. – 2005. – № 2. – С.77-79.
- [21]. Atmaca A., Yumrutas R. Thermodynamic and exergoeconomic analysis of a cement plant: Part I – Methodology // Energy Conversion and Management. – 2014. – Vol. 79. – P.790-798.
- [22]. Карпенко Е.И., Устименко А.Б. Плазменные методы повышения эффективности использования твердых топлив // Горение и плазмохимия. – 2020. – № 4(75). – С.72-85.
- [23]. Messerle V.E., Orynbasar M.N., Ustimenko A.B., Simulation and experiment of plasma ignition of low-grade coal // Combustion and plasma chemistry. – 2024. – № 22. – С.27-36
- [24]. Приказ Министра национальной экономики РК от 5 декабря 2014 года № 129 «Об утверждении Правил разработки или корректировки, проведения необходимых экспертиз инвестиционного предложения государственного инвестиционного проекта, а также планирования, рассмотрения, отбора, мониторинга и оценки реализации бюджетных инвестиций и определения целесообразности бюджетного кредитования» // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Адлет». – 2024. – 22 февраля. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400009938>.

Reference

- [1]. Piir AE, et al (2012) The power engineer [Energetik] 1:60-64. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2013-0-1-33-39>
- [2]. Messerle VE, Ustimenko AB (2024) Applications in Energy and Combustion Science 17. <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2024.100248>
- [3]. Messerle VE, Ustimenko AB, Karpenko EI, Lavrichshev OA (2013) Fuel processing technology 107(SI):93-98. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.07.001>
- [4]. Messerle VE, Orynbasar MN, Ustimenko AB (2024) Environmental efficiency of plasma technology for the use of solid fuels, Some problems of decarbonization and alternative energy. Daryn, Almaty, Republic of Kazakhstan. P.244 (in Rus).
- [5]. Bayrashevsky BA, Borushko NP, Shavelzon MI (2005) Energy and Management 4:14-17.
- [6]. Gokhstein DP (1964) Modern methods of thermodynamic analysis of power plants. Energiya, Moscow. P.368. (in Rus).
- [7]. Dyskin LM, Morozov MS (2018) Modern methods of thermodynamic analysis in thermal power engineering. PC NNGASU, N.Novgorod. P.133. (in Rus). ISBN 978-5-528-00275-0

- [8]. Bazhenov AI (2009) Energy and electrical engineering [Energetika i elektrotehnika]: 1-8. (in Rus).
- [9]. Sidorova YS, Plotnikov VV (2010) Bulletin of the KGEU 3(6):24-31.
- [10]. Amirkhanov RA, Garkavy KA (2003) International Agricultural Journal 3:63-64. (in Rus).
- [11]. Messerle VE, Ustimenko AB (2014) Springer: 977-990. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04681-5_93
- [12]. Messerle VE, Ustimenko AB (2014) Springer: 961-976. https://doi.org/10.1007/978-3-319-04681-5_92
- [13]. Erzen S, Açıkkalp E, Hepbasli A (2022) Hybrid Technologies for Power Generation. Hybrid Energy Systems: 189-218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823793-9.00003-6>
- [14]. Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M-J (1996) John Wiley & Sons: 560. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.33-4516>
- [15]. Abusoglu A, Kanoglu M (2009) Renewable & Sustainable Energy Reviews 13: 2295-2308. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.004>
- [16]. Agapov DS (2017) Structural and parametric optimization of industrial thermal engineering and technological equipment systems. St. Petersburg. P. 340. (in Rus).
- [17]. Ahmadi MH, Alhuyi Nazari M (2019) Energy Science & Engineering 7:30-65. <https://doi.org/10.1002/ese3.223>
- [18]. Sciubba E, Wall G (2007) International Journal of Thermodynamics 10(1):1-26.
- [19]. Tsatsaronis G. (2007) Energy 32(4):249-253. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.07.002>
- [20]. Amerkhanov RA (2005) News of higher educational institutions, The North Caucasus region. Series of Technical Sciences 2:77-79.
- [21]. Atmaca A, Yumrutas R (2020) Energy Conversion and Management 79:790-798. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.11.053>
- [22]. Karpenko EI, Ustimenko AB (2020) Combustion and plasma chemistry [Gorenje i plasmokhimiya] 4(75):72-85 (in Rus).
- [23]. Messerle VE, Orynbasar MN, Ustimenko AB, Combustion and plasma chemistry (Gorenje i plasmokhimiya) 22:27-36. [https://doi.org/10.18321/cpc22\(1\)27-36](https://doi.org/10.18321/cpc22(1)27-36)
- [24]. Information and Legal System of regulatory Legal Acts of the Republic of Kazakhstan «Adlet», 22 Feb. (2024) Order of the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan dated December 5, 2014 No. 129 On Approval of the Rules for the Development or Adjustment, Carrying out the Necessary Examinations of the Investment Proposal of the State Investment Project, as well as Planning, Consideration, Selection, Monitoring and Evaluation of the Implementation of budget Investments and Determining the Expediency of budget Lending. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400009938>.

Methods for quantifying the efficiency of using a solid fuel plasma igniter

V.E. Messerle^{1,2}, A.B. Ustimenko³, A.O. Lavrishchev^{2,4}, M.K. Nugman²

¹Institute of Combustion Problems, 172, Bogenbai batyr str., Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, 71, Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

³National Nano Laboratory of Open type, 71 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan

⁴Institute of Experimental and Theoretical Physics, 71 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

The results of theoretical research on methods for determining the quantitative assessment of the effectiveness of using plasma ignition of solid fuel in thermal power plants are presented in this article. During the gas crisis and the global trend of reducing the carbon footprint, the use of plasma technologies in energy takes on a new development stage. In global heat power engineering, natural gas or fuel oil is used for firing pulverized coal boilers and igniting pulverized coal torches. The use of plasma ignition of energy coal allows to replace expensive oil products with cheap coal at thermal power stations. This article raises the importance of assessing quantitative efficiency and eco-economic advantages of applying resource-saving energy plasma torching compared to traditional technologies in power engineering. The article also discusses methods for quantitatively assessing the effectiveness applicable to thermal power plants. The main task of the research is to develop a methodology and approve standards for further standardization of the work of plasma torch with the intention of commercializing the technology mentioned.

Keywords: plasma technology, exergetic analysis, entropy analysis, solid fuel ignition, rationing, standardization of energy

Қатты отынның плазмалық тұтандырғышын пайдалану тиімділігін сандық бағалау әдістері

В.Е. Мессерле^{1,2}, А.Б. Устименко³, А.О. Лаврищев^{2,4}, М.К. Нұғман²

¹Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр к-сі, 172, Алматы, Қазақстан

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

³Ашық түрдегі ұлттық нанотехнологиялық зертханасы, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

⁴Эксперименттік және теориялық физика ғылыми-зерттеу институты, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

АНДАТПА

ЖЭО-да қатты отынның плазмалық тұтануын пайдалану тиімділігін сандық бағалауды анықтау әдістемелері теориялық зерттеулерінің нәтижелері ұсынылған. Газ дағдарысы және көміртегі ізін азайтудың әлемдік үрдісі кезеңінде энергетикада плазмалық технологияларды қолдану дамудың жаңа кезеңіне ие болады. Әлемдік жылу энергетикасында шаң-көмір қазандықтарын жағу және шаң-көмір алауын жарықтандыру кезінде табиғи газ немесе жағатын мазут қолданылады. Энергетикалық көмірдің плазмалық тұтануын пайдалану қымбат мұнай өнімін жылу электр станцияларында арзан көмірмен алмастыруға мүмкіндік береді.

Энергетикада ресурстарды үнемдейтін энергетикалық плазмотронды қолдану үшін дәстүрлі технологиялармен салыстырғанда оның сандық тиімділігін, эко-экономикалық артықшылықтарын бағалау мәселесі қойылады. Мақалада ЖЭО үшін қолданылатын тиімділікті сандық бағалау әдістері қарастырылған. Зерттеудің негізгі міндеті - аталған технологияны коммерцияландыру ниетімен плазмотронның осы жұмысын одан әрі стандарттау мақсатында әдістемені әзірлеу және нормаларды бекіту болып табылады.

Түйін сөздер: плазмалық технология, эксергетикалық талдау, энтропиялық талдау, қатты отынның тұтануы, энергетикалық стандарттауды нормалау.