

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 (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/MEBG1583>

---

**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>
Кошкеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.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

МРНТИ 28.23.37

<https://doi.org/10.48081/YKON5658>

**Л. Н. Есмаханова<sup>1</sup>, \*Б. С. Мыркалыков<sup>2</sup>,  
Г. С. Балгабаева<sup>3</sup>, А. Т. Абенова<sup>4</sup>,  
Ә. Б. Сағындық<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>Таразский региональный университет имени  
М. Х. Дулати, Республика Казахстан, г. Тараз

<sup>3,4,5</sup>Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3308-9676>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7224-4168>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7474-3232>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8820-6400>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-2150>

\*e-mail: [laura060780@mail.ru](mailto:laura060780@mail.ru)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*В статье рассматриваются основные проблемы, связанные с работой сканеров пламени, помимо возможности загрязнения оптической системы и связанного с этим снижения мощности, поступающей на фотоприемник, являются помехи от соседних горелок и нагретых стенок камеры сгорания. В настоящее время используют информацию, связанную с пульсацией (мерцанием) пламени, что требует анализа переменной составляющей сигнала, получаемого с фотодетектора. Расширенный анализ сигнала фотодетектора позволяет использовать сканеры пламени для диагностики процесса горения, не ограничиваясь только обнаружением пропадания пламени, но и выявлять изменения в ходе процесса горения в пределах одной горелки, особенно из-за выбросов вредных веществ в атмосферу. Достижения современной вычислительной техники позволяют достаточно точно моделировать явления, происходящие при горении. В системах диагностики процессов нейронные сети могут использоваться для*

*решения задач моделирования и классификации. Статья посвящена методам диагностирования процесса сгорания топлива в газовых турбинах и пылегазовых котлах. Обсуждаются проблемы, возникающие при диагностике горения этих топлив, и предложения по их решению. Для полного представления задач, стоящих перед диагностикой, рассмотрены оптические методы измерения параметров этих процессов, методы анализа измерений и характеристик пламени, что позволяет использовать самую быструю информацию, характеризующую процесс горения.*

*Ключевые слова: пламя, фотодетектор, топливо, диагностика, процесс горения, оптический элемент.*

## **Введение**

Сжигание ископаемого топлива является важнейшим источником энергии, используемым человеком. Уголь по-прежнему является ключевым глобальным энергетическим сырьем, и, по оценкам, в течение примерно 50 лет он продолжит занимать доминирующее положение.

До недавнего времени термин «диагностика», происходящий от греческого языка (греч. *diagnostikos* - способный распознавать, *diagnosis* - различие, диагноз, решение), использовался только в медицине и означал диагностику заболевания. Со временем, по мере усложнения используемых технических средств и увеличения необходимости обеспечения их надежной работы, термин «диагностика» распространился и на технические устройства [1, с. 11].

Диагностика промышленных процессов занимается распознаванием изменений состояний этих процессов, которые можно определить, как последовательность целенаправленных действий, выполняемых в заданное время определенным набором машин и устройств с конкретными доступными ресурсами [1, с. 11].

## **Материалы и методы**

Диагностика производственного процесса производится на основе анализа его состояния. Состояние технологического процесса определяется как совокупность оценок отклонений рассматриваемого состояния от состояния, считающегося эталонным [1, с. 15].

Диагностический процесс состоит из трех этапов [2, сс. 2395-2407]:

- обнаружение,
- местоположение,
- выявление повреждений.

Чаще всего диагностический процесс ограничивается первыми двумя этапами. На этапе обнаружения в результате обработки переменных процесса выявляются симптомы повреждения. На их основе на этапе локализации указываются имеющиеся повреждения. Идентификация ущерба включает определение его размера и возможной изменчивости во времени. Иногда вместо фазы локализации неисправности возникает фаза распознавания состояния объекта или класса состояний (рис. 1).

Существует множество способов проведения диагностического процесса. Это может осуществляться с использованием математической модели, которая может быть аналитической, нейронной, нечеткой или без модели процесса. Схема диагностики процесса, включающая этап обнаружения и локализации с использованием модели процесса, представлена на рис. 2а.

Часто модель процесса недостаточно точна или слишком сложна. Затем используются диагностика и обнаружение без использования модели, как показано на рис. 2б. В таком случае используются методы контроля ограничений или контроля взаимосвязей между переменными процесса [2, сс. 2395–2407].

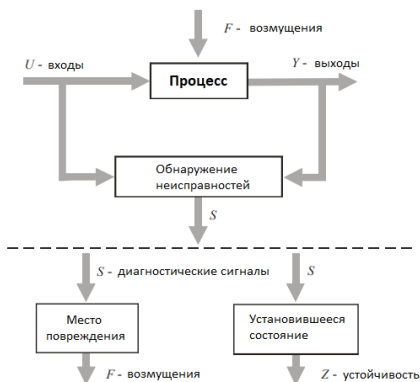


Рисунок 1 – Схема технологической диагностики, включающая этап обнаружения повреждений и этап определения местоположения или распознавания состояния объекта

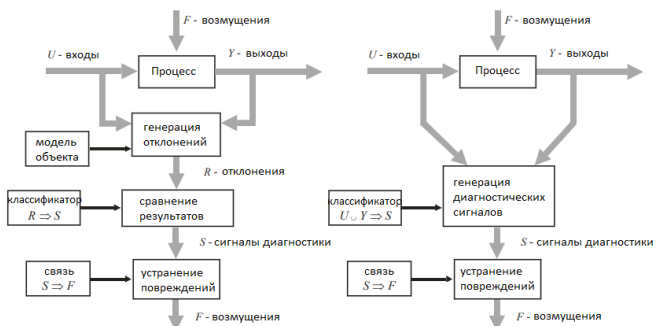


Рисунок 2 – Схема диагностики процесса: а) с использованием модели процесса, б) без использования модели процесса

Другой метод диагностики процесса использует непрерывные переменные процесса, которые состоят из входных и выходных сигналов. В таком случае этапы обнаружения и локализации повреждений объединяются, а классификация состояния объекта часто производится с помощью нейронных сетей.

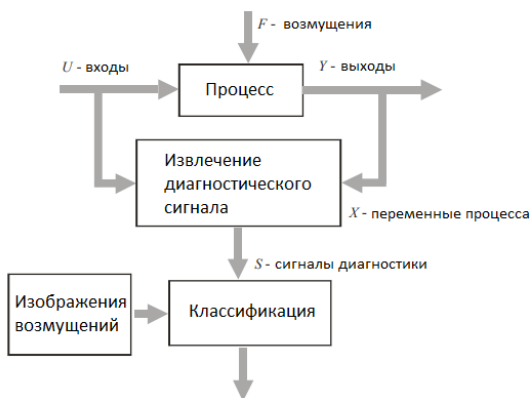


Рисунок 3 – Схема диагностики процесса, понимаемой как распознавание образов

Диагностику процесса можно также рассматривать как распознавание образов. В таком случае на этапе обнаружения повреждения извлекаются

симптомы, а на этапе определения места повреждения классифицируется повреждение или состояние объекта. Схема диагностики процесса с этой точки зрения представлена на рис. 3.

В промышленных условиях качество процесса сжигания пылеугольного топлива оценивается операторами субъективно по изображению пламени, видимому в имеющейся смотровой яме. Используемые системы мониторинга в основном предназначены для обнаружения состояния пропадания пламени, которое может привести к неконтролируемому взрыву угольной пыли [3, сс. 133-139].

Следует подчеркнуть, что скорости топливной смеси на выходе из горелки настолько велики, что ее горение происходит в турбулентном пламени. В настоящее время не существует мер по оценке турбулентного пламени, возникающего при горении угольной пыли, на основании которых можно было бы четко и объективно оценить качество процесса горения. Поэтому представляется необходимым определить диагностические сигналы, которые позволили бы объективно контролировать этот процесс.

Относительно новой проблемой горения является использование так называемого альтернативные виды топлива – биомасса как добавка к угольной пыли или газу брожения, или синтез-газу для сжигания в газовых турбинах [4, сс. 23 - 34]. Использование этих топлив существенно модифицирует процесс сгорания в промышленном оборудовании, а также эти топлива характеризуются высокой изменчивостью состава [5, сс. 77-89]. Разработанные к настоящему времени методы диагностики «традиционных» топлив должны быть существенно модифицированы или даже не могут быть использованы, отсюда необходимость разработки новых, отвечающих требованиям современной энергетики.

Коэффициент избытка топлива — это отношение фактического количества (массы) воздуха, в котором сгорает топливо, к количеству, необходимому для полного сгорания топлива (стехиометрическому количеству). Обычно его обозначают как  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{L_r}{L_t}$$

где  $L_r$  - фактическая масса сухого воздуха, в которой сгорает топливо, а  $L_t$  - теоретическая потребность в сухом воздухе.

Стехиометрическое (теоретическое) количество воздуха можно рассчитать, анализируя уравнения химических реакций, происходящих при сгорании конкретного топлива. Если воздуха, используемого для горения, больше, чем стехиометрическое количество, коэффициент избытка воздуха  $\lambda$  больше 1 (сгорание в обедненных условиях), если меньше, то  $\lambda < 1$  (сгорание в богатых условиях).

Использование информации, содержащейся в излучении пламени, является одним из способов оценки состояния процесса горения. На практике важно, чтобы такую оценку можно было провести максимально простым способом, т.е. с использованием минимально возможного количества диагностических сигналов.

Для этого анализировались оптические сигналы, исходящие из отдельных зон пламени. Индикация наиболее чувствительной зоны пламени к изменению входных параметров горелки осуществлялась на основе анализа главных компонент. Они были зафиксированы в промышленных условиях (котел АП-1650), при двух различных положениях головки относительно пламени, при работе с принудительным изменением основных параметров работы горелки, таких как:

- изменения потока вторичного воздуха,
- изменения наклона горелочного устройства [6].

Система контроля пламени, структурная схема которой представлена на 4-рисунке, включает в себя следующие элементы:

- измерительная головка (расположена внутри камеры сгорания),
- оптоволоконный жгут,
- фотоприемники,
- система обработки сигналов.

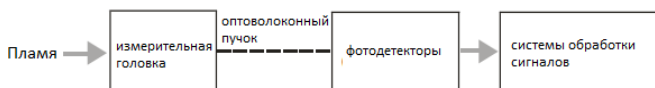


Рисунок 4 – Блок-схема системы контроля пламени

Важнейшим элементом системы, от которого во многом зависит ее корректная работа, является волоконно-оптическая измерительная головка,



передающая излучение, испускаемое пламенем, на детекторы, расположенные вне камеры сгорания (рис. 5). Передняя часть головки расположена внутри камеры сгорания, рядом с работающей пылевой горелкой. Он подвергается воздействию температур выше  $400^{\circ}\text{C}$ , высокой запыленности и вибрации. В головку подается сжатый воздух, который охлаждает ее и предотвращает загрязнение оптических элементов. При правильно подобранной форме торца головки это позволяет обеспечить длительную эксплуатацию (4-12 недель) без необходимости механической чистки. Благодаря соответствующему расположению оптических волокон возможна избирательная передача излучения от определенных участков пламени. Оптическая связь между измерительной головкой и пламенем учитывает объемный характер источника излучения, которым является пламя [6].



Рисунок 5 – Волоконно-оптическая измерительная головка

Волоконно-оптический пучок позволяет размещать фотодетекторы и их усилители при относительно низкой температуре с учетом условий, преобладающих вблизи работающей горелки. Кроме того, использование оптоволоконна облегчает установку системы мониторинга на энергетическом котле, если доступ к месту расположения зонда затруднен. Поскольку длина используемых оптических волокон порядка нескольких метров, в оптическом спектре пылевого пламени вносимое оптическим волокном затухание незначительно. Из-за низкой эффективности связи с оптическими волокнами в системах мониторинга используют толсто сердцевинные оптические волокна PCS или, из-за возможности работы при

более высоких температурах, оптические волокна HCS [7, сс. 136-139]. Второй причиной использования волоконной оптики PCS или HCS является сильная, необратимая деградация легированных волокон (в которых соответствующая форма профиля показателя преломления достигается за счет легирования, например, германием) под воздействием УФ-излучения [8, сс. 114 – 117].

Тип используемого фотодетектора определяется типом сжигаемого топлива. В случае обнаружения пламени угля наиболее полезны детекторы, работающие в видимом или ближнем инфракрасном диапазоне. Полупроводниковыми материалами, используемыми в упомянутых фотодетекторах, обычно являются Si, Ge, InGaAs и так называемые модифицированный кремний, характеризующийся лучшей квантовой эффективностью в УФ-диапазоне [8, сс. 114 – 117].

В системе обработки сигнал с фотодетектора усиливается. Выходные сигналы, соответствующие отдельным оптическим каналам, предоставляются в стандарте 4÷20 мА [8, сс. 114 – 117].

В производственной практике важно, что оценка состояния процесса горения может осуществляться в реальном времени при обычно весьма ограниченных вычислительных возможностях промышленных систем измерения и управления. Поэтому такую оценку следует проводить с использованием как можно меньшего количества диагностических сигналов. Структура пламени неоднородна, поэтому необходимо определить его участок, наиболее чувствительный к изменению рабочей точки горелки [9, сс. 3084-3097].

Чтобы информация о состоянии устройства была полезной, она должна быть в форме, понятной оператору или системе автоматического контроля и диагностики. Анализируется случай, когда неправильная работа горелки вызвана слишком высоким или слишком низким коэффициентом избытка воздуха, поэтому диагностика будет заключаться в выявлении трех состояний.

Существует множество методов классификации, которые можно использовать в этом случае, начиная от метода Фишера (LDA) и заканчивая очень популярным в настоящее время методом опорных векторов (SVM) или нейронными сетями. Возможности диагностики процесса горения будут показаны на примере нечеткой нейронной сети. Этот метод обычно

дает лучшие результаты, чем SVM и классические нейронные сети, а за счет удаления последнего слоя сети (заточки) можно получить нечеткую информацию, предупреждающую о симптомах неправильной работы (или сбоя) [10, сс. 241– 243].

Для объединенных обучающих и тестовых наборов была достигнута 100 % правильная классификация. Однако, когда выходной сигнал остается нечетким, неопределенность видна, особенно в области малой мощности (рис. 6). Скорее всего, это связано с меньшим уровнем оптического сигнала. Попытки дальнейшего увеличения количества правил не привели к существенному изменению неопределенности .

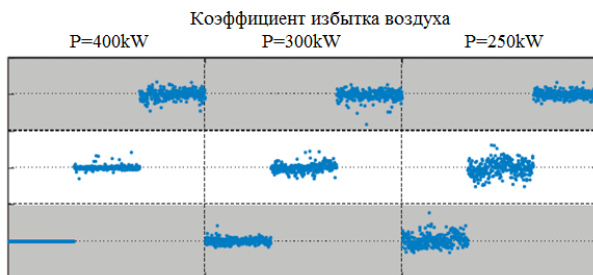


Рисунок 6 – Нечеткая классификация коэффициента избытка воздуха для различных мощностей горелок

Отсюда следует, что описанный метод пригоден для использования при диагностике процесса горения угольной пыли, предполагающий классификацию по корректности коэффициента избытка воздуха. Удалось обнаружить отклонение коэффициента избытка воздуха  $\lambda$  на  $\pm 0,1$  от правильного значения. Рисунок 6 также показывает, что можно обнаружить меньшее отклонение – увеличивая чувствительность метода.

### Результаты и обсуждения

Испытания на горение пылевидного топлива (угля, смеси угля и биомассы) проводились на лабораторной станции в определенной последовательности, напоминающей ту, которая используется при растопке энергетического котла.

На основании даже такого сокращенного описания можно сделать вывод, что горение как газообразного топлива, так и угольной пыли - очень сложный процесс. Достижения современной вычислительной техники

позволяют достаточно точно моделировать явления, происходящие при горении.

Сигналы оптических датчиков содержат много информации, имеющей очень небольшую задержку по сравнению с входными сигналами, но их интерпретация очень сложна.

В системах диагностики процессов нейронные сети могут использоваться для решения задач моделирования и классификации [5]. Среди множества разработанных архитектур наиболее известными являются однонаправленные многоуровневые сети. Большинство типов нейронных сетей можно определить, как систему простых обрабатывающих элементов - нейронов, связанных друг с другом в сети через набор (синаптических) весов. Функция, выполняемая нейронной сетью, определяется ее архитектурой, весовыми значениями и функцией, выполняемой нейронами.

Угольная пыль, подаваемая в горелку, воспламеняется от работающей масляной горелки. После того, как температура в камере сгорания повысится до значения, достаточного для устойчивого воспламенения угольной пыли, масляная горелка отключается – с этого момента работает только пылевая горелка. Затем обороты питателя увеличивают до тех пор, пока они не достигнут требуемых условиями эксперимента. Выход твердого топлива не пропорционален скорости вращения питателя, поэтому рассчитывается исходя из потерь массы топлива из бункера. Процедура тушения станции предполагает дожигание остатка топлива в баке при наличии мазутного пламени. После полного удаления твердого топлива из бака и пылепроводов масляная горелка отключается. До тех пор, пока температура в камере не опустится ниже значения, позволяющего полностью отключить оборудование, камеру проветривают вторичным воздухом.

Были испытаны два вида топлива: чистый уголь и смесь угля с добавлением биомассы. Смесь была приготовлена до проведения испытаний на горение. Испытания проводились при 10 %, 20 % и 30 % содержании биомассы в смеси для двух видов биомассы: измельченной соломы и измельченных древесных опилок. Испытания включали сжигание обоих видов топлива при трех уровнях тепловой нагрузки камеры для трех случаев избытка воздуха. Избыток воздуха подбирался таким образом,

чтобы один из случаев отражал нормальные условия горения в вихревой горелке с низким уровнем выбросов ( $\lambda=0,77$ ), а два других отражали более высокие и более низкие значения.

### **Выводы**

Благодаря развитию вычислительных технологий появляется возможность все более точно моделировать процесс горения с помощью метода CFD. Однако для этого требуются очень большие вычислительные мощности, недоступные промышленным системам. Процесс горения, особенно при его проведении в промышленных условиях, относится к группе технологических процессов высокой степени сложности. Это связано как с характером явлений, сопровождающих этот процесс, так и с тяжелыми условиями эксплуатации диагностического оборудования, подвергающегося воздействию высоких температур, пыли и вибрации. Проблема тяжелых условий труда становится особенно актуальной при проведении диагностики процессов оптическими методами.

Представленные в статье результаты анализа и исследований не исчерпывают всех проблем, связанных с диагностикой пламени оптическими методами. Требуют совершенствования как метод выделения особенностей сигнала интенсивности пламени, так и метод классификации рабочих состояний. Представленное исследование было направлено, прежде всего, на проверку правильности предложенных методов диагностики. Необходимо провести дальнейшие исследования для повышения точности и чувствительности этих методов. Возможно также, что технологии сжигания, которые будут использоваться в будущем, не потребуют совершенно новых методов диагностики.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 **Есмаханова, Л. Н.** Управление процессом сжигания пылевидного угля с использованием передовых технологий: монография [Текст] – Тараз: изд. Тараз университеті. – 2019. – 100 с.

2 **Yesmakhanova, L. N., Tulenbayev, M. S., Chernyavskaya, N. P., Beglerova, S. T., Kabanbayev, A. B., Abildayev, A. A., Maussymbayeva, A. D.** Simulating the coal dust combustion process with the use of the real process

parameters [Text]. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – 16 (22). – P. 2395-2407.

3 **Wojcik, W., Smolarz, A., Kotyra, A., Komada, P.** Optimization of optical fiber probe for flame monitoring by application of finite element method [Text] // Proceedings of SPIE. – 2000. – №4239. – P. 133–139.

4 **Chmielniak, T.** Szanse i bariery w rozwoju technologii energetycznych paliw kopalnych [Text] // Polityka Energetyczna. – 2011. – №14 (2). – P. 23 – 34.

5 **Wilk, R.** Energetyka a ochrona środowiska [Text] // W Materiały konferencyjne «Spalanie węgla '99». Wrocław. – 1999. – S. 77–89.

6 **Costella, J.** The Climategate Emails [Electronic resource]. – URL: – [https://coherence.com.au/curlew/wp-content/uploads/2018/04/climategate\\_analysis.pdf](https://coherence.com.au/curlew/wp-content/uploads/2018/04/climategate_analysis.pdf) [Accessed 18/06/2024].

7 **Wójcik, W., Gromaszek, K., Kotyra, A., Jagiello, Z.** Opracowanie modeli dla kompleksowego systemu sterowania procesem spalania w kotle energetycznym [Text] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2010. – №10. – P. 136–139.

8 **Pavlov, S. V., Barylo, A. S., Kozlovska, T. I., Stasenko, V. A., Azarhov, O. Yu., Kravchuk, P. O., Wójcik, W., Orakbayev, Y., Yesmakhanova, L.** Analysis of microcirculatory disorders in inflammatory processes in the maxillofacial region on based of optoelectronic methods [Text] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – №93 (5). – P. 114 – 117.

9 **García-Armingol, T., Ballester, J., Smolarz, A.** Chemiluminescence – based sensing of flame stoichiometry: Influence of the measurement method [Text] // Measurement. – 2013. – №46(9). – P. 3084–3097.

10 **Wójcik, W., Kotyra, A., Golec, T., Gromaszek K.** Monitorowanie procesu spalania za pomocą kamery [Text] // Przegląd Elektrotechniczny. – 2008. – №3. – P. 241– 243.

## REFERENCES

1 **Yesmakhanova, L. N.** Ozyq tehnologialardy qoldana otyryp, shañ kómirin jaǵy prosesin basqarý: monografiya [Control of the pulverized coal combustion process using advanced technologies: monograph.] [Text]. – Taraz: : Izd-vo Taraz University, 2019. – 100 p.

2 **Yesmakhanova, L. N., Tulenbayev, M. S., Chernyavskaya, N. P., Beglerova, S. T., Kabanbayev, A. B., Abildayev, A. A., Maussymbayeva, A. D.** Simulating the coal dust combustion process with the use of the real process parameters [Text]. // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2021. – 16 (22). – P. 2395–2407.

3 **Wojcik, W., Smolarz, A., Kotyra, A., Komada, P.** Optimization of optical fiber probe for flame monitoring by application of finite element method [Text] // *Proceedings of SPIE*. – 2000. – №4239. – P. 133–139.

4 **Chmielniak, T.** Qazba otynynyń energetikalıq tehnologıalaryn damytý múmkindikteri men kedergileri [Opportunities and barriers in the development of fossil fuel energy technologies] [Text] // *Polityka Energetyczna*. – 2011. – №14 (2). – P. 23 – 34.

5 **Wilk, R.** Energetika jáne qorshaǵan ortany qorǵay [Energy and environment] [Text] // In conference materials "Burning coal '99". Wrocław. – 1999. – P. 77–89.

6 **Costella, J.** The Climategate Emails [Electronic resource]. – URL: [https://coherence.com.au/curlew/wp-content/uploads/2018/04/climategate\\_analysis.pdf](https://coherence.com.au/curlew/wp-content/uploads/2018/04/climategate_analysis.pdf) [accessed 18/06/2024].

7 **Wójcik, W., Gromaszek, K., Kotyra, A., Jagiello, Z.** Energetikalıq qazandyqta janý prosesin basqarıdyń keshendi júesi úshin modelder ázirley Gorenje [Development of models for a comprehensive control system for the combustion process in an energy boiler] [Text] // *Electrical Inspection*. – 2010. – №10. – P. 136–139.

8 **Pavlov, S. V., Barylo, A. S., Kozlovska, T. I., Stasenko, V. A., Azarhov, O. Yu., Kravchuk, P. O., Wójcik, W., Orakbayev, Y., Yesmakhanova, L.** Analysis of microcirculatory disorders in inflammatory processes in the maxillofacial region on based of optoelectronic methods [Text] // *Electrical Overview*. – 2017. – №93 (5). – P. 114 – 117.

9 **García-Armingol, T., Ballester, J., Smolarz, A.** Chemiluminescence – based sensing of flame stoichiometry: Influence of the measurement method [Text] // *Measurement*. – 2013. – №46 (9). – P. 3084–3097.

10 **Wójcik, W., Kotyra, A., Golec, T., Gromaszek K.** Monitoriń prosesi janý kamerasyń kómegimen [Monitoring the combustion process with a camera] [Text] // *Electrical Inspection*. – 2008. – №3. – P. 241 – 243.

Поступило в редакцию 18.06.24

Поступило с исправлениями 27.06.24

Принято в печать 05.09.24

Л. Н. Есмаханова<sup>1</sup>, \*Б. С. Мырқалыков<sup>1</sup>, Г. С. Балғабаетова<sup>2</sup>, А. Т. Әбенова<sup>2</sup>,  
Ә. Б. Сағындық<sup>2</sup>

<sup>1</sup>М. Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Қазақстан  
Республикасы, Тараз қаласы

<sup>2</sup>Торайғыров университеті,  
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

18.06.24 ж. баспаға түсті.

27.06.24 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## АЙҚЫН ЕМЕС НЕЙРОН ЖЕЛІЛЕР КӨМЕГІМЕН ЖАНУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

*Мақалада жалын сканерлерінің жұмысымен байланысты негізгі проблемалар қарастырылады, оптикалық жүйенің ластану мүмкіндігінен және фотодетекторға берілетін құаттың соған байланысты төмендеуінен басқа, көрші оттықтар мен жану камерасының қыздырылған қабырғаларының кедергілері бар. Қазіргі уақытта жалынның пульсациясына (жыпылықтауына) қатысты ақпарат пайдаланылады, ол фотодетектордан алынған сигналдың ауыспалы компонентін талдауды талап етеді. Фотодетектор сигналының кеңейтілген талдауы жалынның жоғалуын анықтау арқылы ғана емес, сонымен қатар, әсіресе атмосфераға зиянды заттардың шығарылуына байланысты бір оттық ішінде жану процесіндегі өзгерістерді анықтау арқылы жану процесін диагностикалау үшін жалын сканерлерін пайдалануға мүмкіндік береді. Қазіргі заманғы компьютерлік технологияның жетістіктері жану кезінде болатын құбылыстарды дәл модельдеуге мүмкіндік береді. Процесті диагностикалау жүйелерінде нейрондық желілер модельдеу және*



*жіктеу мәселелерін шешу үшін пайдаланылуы мүмкін. Мақала газ турбиналары мен шаң-газ қазандықтарында отынның жану процесін диагностикалау әдістеріне арналған. Отындардың жануын диагностикалау кезінде туындайтын мәселелер және оларды шешу бойынша ұсыныстар талқыланады. Диагностика алдында тұрған міндеттерді толық көрсету үшін осы процестердің параметрлерін өлшеудің оптикалық әдістері, өлшеулер мен жалын сипаттамаларын талдау әдістері қарастырылады, бұл жану процесін сипаттайтын ең жылдам ақпаратты пайдалануға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: жалын, фотодетектор, отын, диагностика, жану процесі, оптикалық элемент.*

*L. N. Yesmakhanova<sup>1</sup>, \*B. S. Myrkalykov<sup>1</sup>, G. S. Balgabaeva<sup>2</sup>, A. T. Abenova<sup>2</sup>, A. B. Sagyndyk<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Taraz Regional University named after M. Kh. Dulaty,  
Republic of Kazakhstan, Taraz

<sup>2</sup>Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 18.06.24

Received in revised form 27.06.24

Accepted for publication 05.09.24

## **SIMULATION OF THE COMBUSTION PROCESS USING FUZZY NEURAL NETWORKS**

*The article discusses the main problems associated with the operation of flame scanners, in addition to the possibility of contamination of the optical system and the associated reduction in power supplied to the photodetector, there is interference from neighboring burners and heated walls of the combustion chamber. Currently, information related to flame pulsation (flickering) is used, which requires analysis of the variable component of the signal received from the photodetector. Advanced analysis of the photodetector signal allows the use of flame scanners to diagnose the combustion process, not only by*

*detecting flame loss, but also by identifying changes in the combustion process within a single burner, especially due to emissions of harmful substances into the atmosphere. Advances in modern computer technology make it possible to accurately simulate the phenomena occurring during combustion. In process diagnostic systems, neural networks can be used to solve modeling and classification problems. The article is devoted to methods for diagnosing the process of fuel combustion in gas turbines and dust and gas boilers. The problems that arise when diagnosing the combustion of these fuels and proposals for solving them are discussed. To fully present the challenges facing diagnostics, optical methods for measuring the parameters of these processes, methods for analyzing measurements and flame characteristics are considered, which allows the use of the fastest information characterizing the combustion process.*

*Key words: flame, photodetector, fuel, diagnostics, combustion process, optical element.*

Теруге 10.09.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

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

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

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

Тапсырыс №4277

Сдано в набор 10.09.2024 г. Подписано в печать 30.09.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

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

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

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

Заказ № 4277

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайгыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайгыров университеті

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

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)