

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА»

ISSN 2790-0886

В Е С Т Н И К

АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Учрежден в июне 2008 года

Тематическая направленность: энергетика и энергетическое машиностроение, информационные, телекоммуникационные и космические технологии

4 (55)

2021

Импакт-фактор - 0.154

Научно-технический журнал
Выходит 4 раза в год

Алматы

ВЕСТНИК АЛМАТИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ14VPY00024997

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Подписной индекс – 74108

Бас редакторы – главный редактор

Стояк В.В.

К. т.н., профессор

Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

Жауыт Алгазы, доктор PhD
Шуебаева Д.А., магистр

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Главный редактор – Стояк В.В., кандидат технических наук, профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

Заместитель главного редактора – Жауыт А., доктор PhD, ассоциированный профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

Сагинтаева С.С., ректор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, доктор экономических наук, кандидат физико-математических наук, профессор математики, академик МАИН;

Ревалде Г., доктор PhD, член-корреспондент Академии наук, директор Национального Совета науки, Рига, Латвия;

Илиев И.К., доктор технических наук, Русенский университет, Болгария;

Белоев К., доктор технических наук, профессор Русенского университета, Болгария;

Обозов А.Д., доктор технических наук, НАН Кыргызской Республики, заведующий Лабораторией «Возобновляемые источники энергии», Кыргызская Республика;

Кузнецов А.А., доктор технических наук, профессор Омского государственного технического университета, ОмГУПС, Российская Федерация, г. Омск;

Алипбаев К.А., PhD, доцент Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

Зверева Э.Р., доктор технических наук, профессор Казанского государственного энергетического университета, Российская Федерация, г. Казань;

Лакно В.А., доктор технических наук, профессор Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, кафедра компьютерных систем, сетей и кибербезопасности, Украина, Киев;

Омаров Ч.Т., кандидат физико-математических наук, директор Астрофизического института имени В.Г. Фесенкова, Казахстан;

Коньшин С.В., кандидат технических наук, профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан;

Тынымбаев С.Т., кандидат технических наук, профессор Алматинского Университета Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, Казахстан.



ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

МРНТИ 44.31.31,
УДК 621.311.22, 004.418

https://doi.org/10.51775/2790-0886_2021_55_4_5

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА НА УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ КАЗАХСТАНА

О.О. Архипкин¹, А.А. Кибарин², Н.К. Жакиев^{3*}, А.В. Нефтисов³

¹АО «Жасыл Даму», г. Нур-Султан

²НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»

³ТОО «Astana IT University», г. Нур-Султан

e-mail: ooarkhipkin@gmail.com, a.kybaryn@aes.kz, nurkhat.zhakiyev@astanait.edu.kz,
Alexander.neftisov@astanait.edu.kz

***Аннотация.** Электроэнергетика Казахстана является крупнейшей в регионе Центральной Азии, при этом доминирующее положение занимают угольные тепловые электростанции (ТЭС), на которые приходится около 68-70% от объемов производства электроэнергии. Угольные электростанции характеризуются относительно высокими показателями расхода топлива и высокой долей износа основных фондов. Сложности в эксплуатации угольных электростанций, приводящие к повышенным показателям расхода топлива, заключаются, в том числе в изменение качества угля в зависимости от партии, что сказывается как на характере горения, так и на величине недожога и шлакования. Усиление в Казахстане требований экологического законодательства с переходом на новые нормы выбросов делает задачу повышения энергоэффективности электростанций крайне актуальной.*

Внедрение аппаратно-информационных систем по оптимизации горения и работы котлоагрегатов с учетом комплексного подхода к регулированию процессов подготовки, подачи и сжигания угля позволит повысить эффективность котлоагрегатов угольных электростанций.

В статье выполнен обзор методов оптимизации горения и предложен вариант принципа построения архитектуры единой информационной системы обращения с топливом на ТЭС.

***Ключевые слова:** угольные тепловые электростанции, качество угольного топлива, аппаратно-информационная система, оптимизация горения.*

Введение.

Развитие экономики Казахстана неразрывно связано с развитием электроэнергетики, в то же время именно угольная электроэнергетика оказывает наибольшее воздействие на окружающую среду, что выводит на первое место задачу по снижению такого воздействия.

В период с 2001-2020 гг. основные инвестиции в модернизацию ТЭС были связаны с заменой турбинного оборудования, тогда как обновлению котлоагрегатов уделялось значительно меньше внимания. Доля турбин ТЭС, введенных с 2001 года, составляет 35,5% от общей установленной мощности ТЭС, тогда как доля новых котлоагрегатов, введенных с 2001 года, составляет всего 10% от общей паропроизводительности всех котлоагрегатов. Отставание в модернизации и замене котлоагрегатов отрицательно сказывается на показателях работы электростанции и удельном расходе топлива. Другой фактор, влияющий на КПД котлоагрегатов, связан с отклонениями партий угля от паспортных характеристик, а также с использованием непроектного топлива. Технологии усреднения угля, внедряемые на крупнейшем угольном разрезе «Богатырь», повысят степень усреднения угля, однако отклонения в составе характеристики партий угля также по зольности будут составлять 2-5%

Установка информационных систем по оптимизации процессов обращения с углем должна быть направлена на повышение эффективности сжигания топлива с учетом различий в характеристиках партий угля, а также целей снижения выбросов оксидов азота.

Текущая ситуация в электроэнергетике.

Тепловые электрические станции Казахстана, в том числе и угольные, характеризуются значительным физическим износом. Средний возраст энергетического оборудования ТЭС Казахстана составляет более 32 лет, при этом доля оборудования, имеющего возраст более 30 лет, составляет более 59%.

Однако в рамках выполнения инвестиционных обязательств проводят постоянное обновление преимущественно турбинного оборудования (рисунок 1), но отставание в модернизации и замене котлоагрегатов сказывается на энергоэффективности.

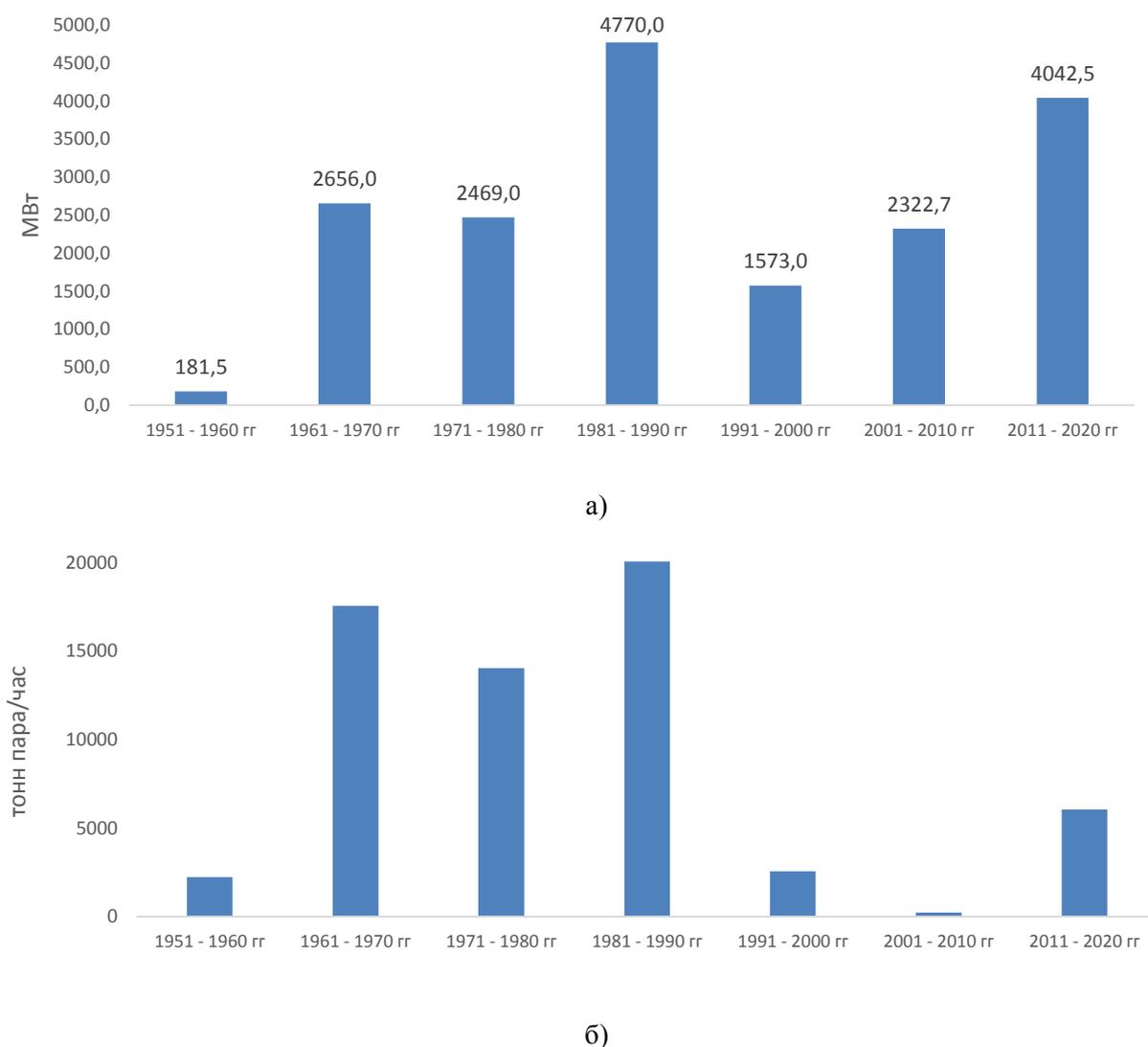


Рисунок 1 - Периоды установки а) турбин и б) котлоагрегатов ТЭС

В Казахстане эксплуатируется 41 угольная ТЭС с пылеугольной технологией сжигания, из которых 36 ТЭЦ и 5 конденсационных электростанций (КЭС), существенно различающихся по техническим характеристикам и маркам используемого угольного топлива. Наиболее крупные угольные электростанции представлены в таблице 1.

Таблица 1. Крупные угольные электростанции Казахстана [1]

Тип	Электростанции	Мощность, МВт		Используемый уголь бассейна
		Установленная	Располагаемая	
КЭС	Экибастузская ГРЭС-1	3500	3478	Экибастузский
	Станция Экибастузская ГРЭС-2	1000	958	
	ЭС АО «ЕЭК»	2510	2462	
	ГРЭС Топар	743	634	Борлинский
ТЭЦ	Карагандинская ТЭЦ-3	670	563	Экибастузский
	Павлодарская ТЭЦ-3	555	427	
	Петропавловская ТЭЦ-2	541	537	
	ТЭЦ-2 Астана	480	415	
	Карагандинская ТЭЦ-2	435	270	Борлинский
	Усть-Каменогорская ТЭЦ	373	321	Каражыринский
	Павлодарская ТЭЦ-1	350	300	Экибастузский
	Жезказганская ТЭЦ	252	204	

Согласно анализу данных по электростанциям за 2020 год средний нетто КПД крупнейших угольных ТЭЦ (таблица 1) не превышает 30%, а коэффициент использования топлива для производства электрической и тепловой энергии составляет в среднем 76%.

Для казахстанских электростанций при переходе на наилучшие доступные технологии (НДТ) планируется установить показатели по КПД и коэффициенту использования топлива, значения которых приведены в таблице 2.

Таблица 2. Пороговые уровни энергоэффективности для сжигания каменного и бурого угля [1]

Тепловая мощность установки, МВт	Электрический КПД _{нетто} , %		Коэффициент использования топлива, %
	Новая	Действующая	
< 1000	36,5 – 41%	30 - 37%	50 - 75%
>= 1000	40 - 42%	32 - 39 %	75 - 80%

Требования (таблица 2) предъявляются к КПД_{нетто}, то есть по объему отпущенной электроэнергии, а не произведенной электроэнергии (КПД_{брутто}), в результате основные принципы увеличения энергоэффективности ТЭС в части КПД котлоагрегатов предполагают следующие решения:

- определение оптимальных характеристик подготовки топлива, в зависимости от характеристик партии;
- уменьшение потерь тепла с теплом дымовых газов и с химическим и механическим недожогом топлива;
- снижение вероятности шлакообразования, поддержание температуры ниже точки шлакообразования.

Все вышеперечисленные показатели связаны с величиной коэффициента избытка воздуха (α), определяемого отношением фактического расхода воздуха на горение топлива, к теоретически необходимому значению.

Повышение эффективности горения угля в котлоагрегатах.

Как показывают исследования [2], процесс подготовки угля, в том числе тонина помола, влияет на процесс эффективности горения и шлакования котлоагрегатов. Величина избытка воздуха (α) влияет как на удельный расход топлива, так и на химический и механический недожог и выбросы оксидов азота. В случае недостатка кислорода воздуха увеличивается химический недожог, о котором можно судить по концентрации СО в дымовых газах, в случае избыточного количества кислорода увеличивается величина потерь тепла с дымовыми газами и выбросы оксидов азота. При

слишком тонком помоле угля и достаточной величине избытка воздуха при сжигании пылеугольной смеси образуются зоны повышенной температуры, в которых происходит шлакообразование и большее окисление азота, однако при недостаточной тонине помола угля и недостатке воздуха увеличивается величина механического недожога топлива.

Применяемые в настоящее время методы оптимизации горения в основном базируются на измерении величин содержания O_2 и CO и температуры в отходящих дымовых газах для регулирования подачи воздуха с целью оптимизации горения и снижения потерь с теплом отходящих дымовых газов (потери q_2). Примером подобных систем оптимизации горения на котлоагрегатах являются комплексы СКЭР-1М [3] с применением программируемых контроллеров. В ряде работ встречается описание применяемых методов оптимизации горения топлива в котлоагрегатах на основе данных датчиков давления пара, O_2 , CO использованием контроллеров «нечеткой логики» [4]. Ряд исследований демонстрируют эффективность использования нейронных сетей для решения проблем задержки сигналов от газоанализаторов при оптимизации избытков воздуха в режиме реального времени [5].

Важным фактором, влияющим на процесс пылеугольного сжигания, является образование зон повышенной температуры в области горения углей, что приводит к увеличению шлакообразования [2] и увеличению объемов образования оксидов азота [6, 7]. Для определения распределения температур в зоне горения недостаточно данных по дымовым газам, необходим мониторинг непосредственно в зоне горения. Мониторинг в реальном времени, на основе данных температурного поля, позволит обеспечить стабильное и равномерное горение топлива, диагностику и оптимизацию процесса сгорания [8]. Реконструированное трехмерное температурное поле в зоне горения котлоагрегата обеспечивает критически важные данные для управления и оптимизацию процесса горения. Однако смоделировать точную физическую модель, которая предсказывает распределение температурного поля на основе доступной информации о котлоагрегате и топливе невозможно ввиду сложностей физических процессов и конструктивных элементов топочного пространства. Единственный возможный способ получить эту информацию - определить температурное поле в режиме реального времени. Однако существующие разновидности термодатчиков контактного типа с трудом выдерживают температуру в зоне горения до $1500\text{ }^\circ\text{C}$, и точечные контактные датчики, которые могут предоставлять информацию о температуре только там, где достигает наконечник датчика. Датчики можно устанавливать только в определенные места котлоагрегатов, такие как стены котла, чтобы свести к минимуму их влияние на структуру пламени и работу котлоагрегата. Чтобы преодолеть эти недостатки, используются подходы бесконтактной высокотемпературной реконструкции с использованием излучения инфракрасных пирометров. Но эти датчики характеризуются рядом недостатков, включая громоздкий размер и низкую точность [9].

В научной литературе рассматриваются два альтернативных подхода к моделированию температурного поля в зоне горения котлоагрегатов: обработкой данных ультразвукового поля, создаваемого системой акустических датчиков и интерпретации методами «компьютерного» зрения изображений пламени в зоне горения.

Теория акустической термометрии основана на соотношении скорости звука и температуры топливной смеси. Скорость звука v в газообразной среде при абсолютной температуре T задается как:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R}{M} \cdot T} \quad (1)$$

где γ – показатель изоэнтропы газа, R – газовая постоянная, а M – молярная масса.

В двухмерной проекции распределение температуры $T(x, y)$ аппроксимируется согласно формуле (2)

$$T(x, y) = \left(\frac{v(x, y)}{z}\right)^2 \quad (2)$$

Получение качественного измерения распределения температуры играет важную роль для систем в котлах электростанций [10]. Распределенную систему акустического зондирования можно использовать для получения как трехмерного распределения температурного поля в котлоагрегате в целом, так и локальных температур [9].

Получение качественного измерения распределения температуры играет важную роль для систем в котлах электростанций [10]. Распределенную систему акустического зондирования можно использовать для получения как трехмерного распределения температурного поля в котлоагрегате в целом, так и локальных температур [9].

Другим подходом к моделированию температурного поля являются методы компьютерного зрения, при которых выявляются взаимосвязи между изображением пламени, полученными с помощью ПЗС-камер, и анализа с применением искусственных нейронных сетей (ИНС) для определения распределения температурного поля [11].

Системы моделирования температурного поля могут быть дополнены системами измерения температуры отходящих газов, еще один важный параметр в работе котла. Температура дымовых газов на выходе также отражает условия горения внутри котлоагрегата, а также величину теплопередачи и засорение поверхностей нагрева.

С учетом задач и проблем по переходу угольных ТЭС на принципы НДТ необходимо внедрение аппаратно-информационных систем регулирования избытка воздуха, с моделированием в режиме реального времени поля распределения температур в области горения для регулирования параметров подачи и состава топливно-воздушной смеси.

Анализ фактических данных по угольным ТЭЦ.

Котельные агрегаты угольных электростанций характеризуются высоким общим износом до 85% с учетом продления ресурса, что сказывается на эффективности горения топлива, охлаждения теплоносителя и выбросах загрязняющих веществ (ЗВ). В таблице 3 приведены значения КПД_{нетто} для крупных угольных ТЭЦ Казахстана.

Таблица 3. Оценка показателей крупных угольных ТЭЦ за 2020 год

Наименования	КПД _{нетто}	Коэффициент использования топлива
ТЭЦ-2 г. Нур-Султан	31,7%	61,3%
Карагандинская ТЭЦ-3	32,8%	43,1%
Павлодарская ТЭЦ-3	27,8%	43,8%
Петропавловская ТЭЦ-2	24,9%	37,3%
Усть-Каменогорская ТЭЦ	32,5%	54,6%
Павлодарская ТЭЦ-1	35,5%	69,4%
Жезказганская ТЭЦ	24,4%	41,2%

Из крупных угольных ТЭЦ электрический КПД нетто соответствует требованиям НДТ (см. таблица 2) только у двух электростанций и ни у одной не соответствует требованию по эффективности использования топлива. В части выбросов ЗВ на энергетику приходится 42% от общих выбросов по Казахстану, при этом усредненная структура выбросов ЗВ по электростанциям выглядит следующим образом: оксиды серы 57%, оксиды азота 20%, пыль 21%, углекислый газ 2%, но по отдельным электростанциям наблюдаются существенные различия в удельных выбросах ЗВ (таблица 4).

Таблица 4. Удельные выбросы ЗВ ТЭС Казахстана, кг/тыс. кВт*ч.

Наименования	Оксиды азота	Оксиды серы	Пыль
Карагандинская ТЭЦ-3	2,5	4,8	1,2
Павлодарская ТЭЦ-3	2,2	5,3	1,6
Петропавловская ТЭЦ-2	2,2	5,3	1,6
ТЭЦ-2 г. Нур-Султан	3,8	9,5	1,8
Усть-Каменогорская ТЭЦ	2,2	3,9	0,9
Павлодарская ТЭЦ-1	4,4	10,4	4,3
Жезказганская ТЭЦ	0,2	9,1	1,9

Выбросы оксидов серы образуются за счет окисления серы, содержащейся в угле, и подавляются за счет мероприятий по обессериванию угля или сероочистки дымовых газов на электростанциях на десульфуризационных установках. Если проблема ограничения выбросов оксидов серы решается на ТЭС путем очистки дымовых газов, то выбросы NO_x могут быть уменьшены за счет организации и оптимизации топочного процесса [6], т. к. прямая очистка дымовых газов связана с крайне высокими капитальными и эксплуатационными затратами. Выбросы оксидов азота при сжигании угля связаны как с окислением азота воздуха в высокотемпературном факеле, так и выделяющегося при термическом разрушении связанного азота угля. Как показано в исследовании [7], эмиссии топливных оксидов азота пропорциональны квадрату среднеинтегральной концентрации кислорода на начальном участке факела, где происходит горение летучих, поэтому важно минимальное значение избытка воздуха (α), при котором, однако, не наблюдается существенного повышения химического и механического недожога. Режимы с умеренно контролируемым недожогом являются наиболее оправданными с точки зрения снижения выбросов оксидов азота.

Оптимизация работы систем пылеприготовления с прямым вдуванием позволяет также снизить выбросы оксидов азота на 15-2 %. На котле БКЗ-420-140-5 Карагандинской ТЭЦ-3 были проведены сравнительные опыты при одинаковой нагрузке, но при разном числе включенных мельниц. При отключении одной из мельниц (с сохранением нагрузки котла) для 5-8-й горелок избыток воздуха уменьшался примерно до 1. Сжигание 2/3 топлива с пониженным коэффициентом избытка воздуха приводило к уменьшению концентрации оксидов азота примерно на 15% [11].

В результате избыток воздуха, подготовка и подача угля оказывают влияние на выбросы оксидов азота, поэтому для решения задачи по определению оптимального избытка воздуха (α) необходимо учитывать следующие параметры:

- потери с теплом уходящих дымовых газов (q_2) и потери от химического недожога (q_3);
- поле температур в зоне горения с учетом задачи минимизации шлакования котлоагрегата;
- тонину помола угля и величину механического недожога угля (q_4);
- содержание оксидов азота в дымовых газах.

В результате целью оптимизации процессов подготовки и сжигания угля на ТЭС является решение аппаратно-вычислительными методами задачи по определению оптимальных значений коэффициента избытка воздуха для каждой партии угольного топлива, при которых будут достигаться: минимум суммы $q_2+q_3+q_4$ при понижении выбросов оксидов азота и контроле температуры ниже значения шлакообразования

К такой постановке задачи может быть предложена нижеследующая архитектура организации единой аппаратно-вычислительной системы «помол-подача-горение-выбросы» (рисунок 2).

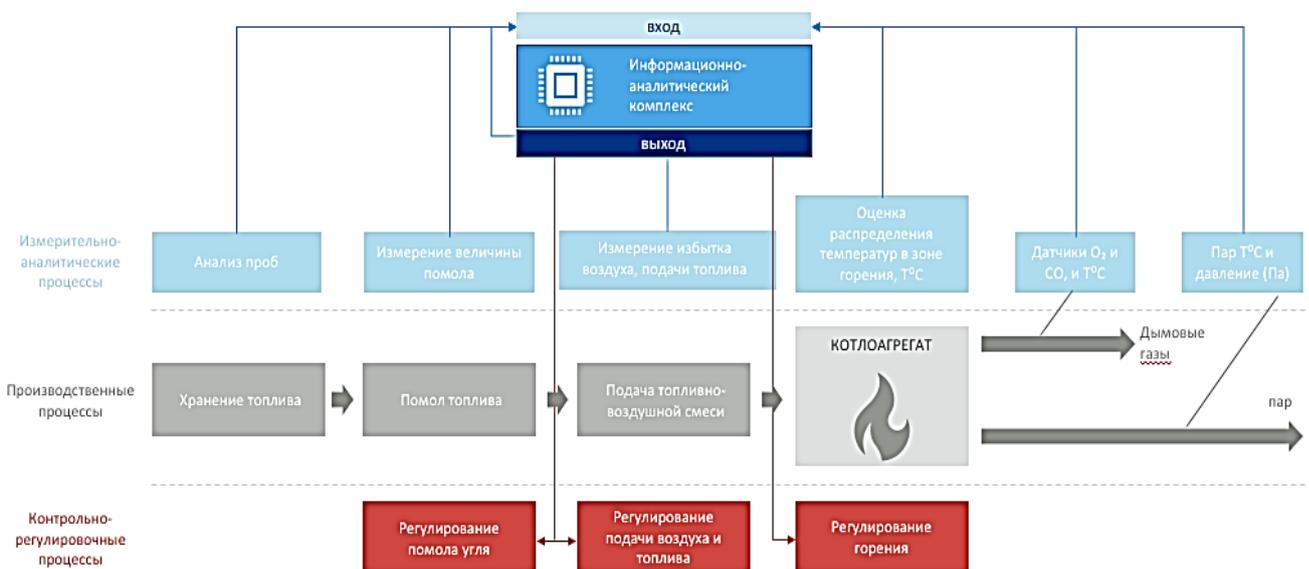


Рисунок 2 – Архитектура единой информационной системы обращения с топливом на ТЭС

Аппаратно-вычислительные системы, организованные по предложенному варианту организации архитектуры, могут использоваться персоналом ТЭС для принятия решений по корректировке параметров помола угля и подачи воздуха в ручном режиме.

Реализация оптимизации режимов горения только за счет контроля O_2 , CO на примере аппаратно-вычислительного комплекса СКЭР-1М, внедренного на ряде котлоагрегатов, показала результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5. Эффект при внедрении систем контроля эффективности сжигания топлива

Параметр	Вид топлива	Уголь	Уголь/Газ	Уголь
	Тип котла	БКЗ-75	БКЗ-160	БКЗ-420
Средняя тепловая нагрузка	Гкал/ч	60	130	175
КПД брутто до внедрения	%	91,3	92,4	92,4
КПД после внедрения	%	92,7	93,1	93,1
Повышение КПД котлоагрегата	%	1,4	0,7	0,7

С учетом объемов потребления угля на угольных ТЭС Казахстана около 30 млн. тонн в год, повышение КПД котлоагрегата на 1-1,5% даст экономию угля в 300 тыс. тонн угля в год, а эффект снижения выбросов парниковых газов может быть оценен до 1 млн. тонн CO_2 эквивалента в год.

Заключение.

В работе предложен комплексный подход к постановке задачи по повышению эффективности горения топлива и разработан вариант архитектуры аппаратно-информационной системы для решения данной задачи.

Внедрение информационно-вычислительных систем для повышения эффективности горения на угольных ТЭС имеет существенный потенциал для экономии энергетических ресурсов и снижения выбросов оксидов азота и парниковых газов. Наравне с модернизацией и переходом на НДТ внедрение систем оптимизации и более тонкой настройки режимов сжигания угля позволит достигнуть снижения потребления топлива на 1-1,5 % и на 15-20 % снизить образование оксидов азота.

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09563335 «Методы моделирования и машинного обучения для оптимального планирования генерирующего оборудования Павлодарской ТЭЦ»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Межотраслевой справочник по наилучшим доступным техникам "Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии" (Проект), МЦЗТИП, Нур-Султан, 2021. Доступен по ссылке: <https://igtipc.org/ru/ndt/20210514-044949/1206-20210514-060401> (30 ноября 2021г.).

[2] В.В. Богомолов, А.Н. Алехнович, А.Ю. Кузнецов, О.В. Богомолов. Исследование шлакования котлов БКЗ-160 Согринской ТЭЦ и разработка мероприятий по его снижению. V научно-практическая конференция «Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы». Челябинск, 7 июня – 9 июня 2011г. Сборник докладов, Том 1 «Исследования и опыт сжигания топлив», с.142-153.

[3] Система контроля эффективности сжигания топлива на котлоагрегатах малой и средней мощности. Технический паспорт оборудования для автоматизации. Каталог проектов компании ТОО «Энергоавтоматика». Доступен по ссылке: <https://owen.ru/project/sistema-kontrolya-effektivnosti-szhiganiya-topлива-na-kotloagregatah-maloyj-> (30 ноября 2021г.).

[4] R. A. Akisue, A. C. L. Horta and R. Sousa Jr., 2018, Development of a fuzzy system for dissolved oxygen control in a recombinant Escherichia coli cultivation for heterologous protein expression, Computer Aided Chemical Engineering, v. 43, p. 1129-1134.

[5] Sedat Golgiyaz, Muhammed Fatih Talu, Mahmut Das_kın, Cem Onat, 2021, Estimation of excess air coefficient on coal combustion processes via gauss model and artificial neural network, Alexandria Engineering Journal, vol.61, iss.2, pp.1079-1089.

[6] Экологические проблемы угольных ТЭЦ. Работа выполнена сотрудниками ОАО «ВТИ» под руководством к.т.н. Котлера В.Р. по гранту, предоставленному Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (соглашение №14.U02.21.0318 от 27 июля 2012г). Доступен по ссылке: https://vti.ru/files/public/ekologicheskie_problemy_ugol_nyh_tec.pdf (30 ноября 2021г.).

[7] Бабий В.И., Котлер В.Р. Вербовецкий Э.Х., Механизм образования и способы подавления оксидов азота в пылеугольных котлах. Энергетик, 1996, №6, с. 8-16.

[8] P. Madejski, T. Janda, N. Modlin' ski, D. Nabagło, A combustion process optimization and numerical analysis for the low emission operation of pulverized coal-fired boiler, Developments in Combustion Technology, InTech, October 5th, 2016, doi: 10.5772/64442.

[9] Tong Ma, Yuqian Liu, Chengyu Cao, Neural networks for 3D temperature field reconstruction via acoustic signals, Mechanical Systems and Signal Processing 126 (2019) p. 392–406.

[10] Q. Kong, G. Jiang, Y. Liu, M. Yu, Numerical and Experimental Study on Temperature Field Reconstruction Based on Acoustic Tomography, Applied Thermal Engineering (2019), ID 1830965, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114720.

[11] Влияние режимных факторов на снижение выбросов оксидов азота. Энергетика. ТЭС и АЭС. Доступен по ссылке: <https://tesiaes.ru/?p=12398#> (30 ноября 2021г.).

REFERENCES

[1] Intersectoral handbook on the best available techniques "Fuel combustion at large installations for energy production" (Project). MZTIP, Nur-Sultan, 2021. Available at: <https://igtipc.org/ru/ndt/20210514-044949/1206-20210514-060401> (access: November 30th, 2021).

[2] V.V. Bogomolov, A.N. Alekhovich, A.Yu. Kuznetsov, O.V. Bogomolov Study of boiler slagging BKZ-160 Sogrin'skaya CHP and development of measures to reduce it. V Scientific and practical conference "Mineral part of fuel, slagging, boiler cleaning, ash capture and use". Chelyabinsk, June 7 - June 9, 2011. Collection of reports, Volume 1 "Research and experience of fuel combustion", pp.142 - 153.

[3] A system for monitoring the efficiency of fuel combustion on small and medium-power boilers. Technical data sheet of automation equipment. Catalog of projects of the company "Energoautomatika" LLP. Available at: <https://owen.ru/project/sistema-kontrolya-effektivnosti-szhiganiya-topлива-na-kotloagregatah-maloyj> - (November 30th, 2021).

[4] R. A. Akisue, A. C. L. Horta and R. Sousa Jr., 2018, Development of a fuzzy system for dissolved oxygen control in a recombinant Escherichia coli cultivation for heterologous protein expression, Computer Aided Chemical Engineering, v. 43, p. 1129-1134.

[5] Sedat Golgiyaz, Muhammed Fatih Talu, Mahmut Das_kın, Cem Onat, 2021, Estimation of excess air coefficient on coal combustion processes via gauss model and artificial neural network, Alexandria Engineering Journal, vol.61, iss.2, pp.1079-1089.

[6] Environmental problems of coal-fired thermal power plants. The work was carried out by employees of JSC "VTI" under the guidance of V.R. Kotler, Ph.D., under a grant provided by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the federal target program "Scientific and scientific-pedagogical personnel of innovative Russia" for 2009-2013 (Agreement No. 14.U02.21.0318 dated July 27, 2012). Available at: https://vti.ru/files/public/ekologicheskie_problemy_ugol_nik_tec.pdf (November 30th, 2021).

[7] Babiy V.I., Kotler V.R. Verbovetsky E.H., The mechanism of formation and methods of suppression of nitrogen oxides in pulverized coal boilers. Energetik, 1996, No. 6, pp. 8-16.

[8] P. Madejski, T. Janda, N. Modlin' ski, D. Nabagło, A combustion process optimization and numerical analysis for the low emission operation of pulverized coal-fired boiler, Developments in Combustion Technology, InTech, October 5th, 2016, doi: 10.5772/64442.

[9] Tong Ma, Yuqian Liu, Chengyu Cao, Neural networks for 3D temperature field reconstruction via acoustic signals, Mechanical Systems and Signal Processing 126 (2019) p. 392–406.

[10] Q. Kong, G. Jiang, Y. Liu, M. Yu, Numerical and Experimental Study on Temperature Field Reconstruction Based on Acoustic Tomography, Applied Thermal Engineering (2019), ID 1830965, doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114720.

[11] The influence of regime factors on the reduction of nitrogen oxide emissions. Energy. Thermal power plants and nuclear power plants. Available at: <https://tesiaes.ru/?p=12398> # (November 30th, 2021).

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ КӨМІР ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНДА ОТЫНДЫ ЖАҒУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУҒА КЕШЕНДІ ТӘСІЛ

О.О. Архипкин¹, А.А. Кибарин², Н.К. Жакиев^{3*}, А.В. Нефтисов³

¹ «Жасыл Даму» АҚ, Нұр-Сұлтан

² «Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КеАҚ

³ «Astana IT University» ЖШС, Нұр-Сұлтан

e-mail: ooarkhipkin@gmail.com, a.kybaryn@aes.kz, nurkhat.zhakiyev@astanait.edu.kz,
Alexander.neftisov@astanait.edu.kz

Аңдатпа. Қазақстанның электр энергетикасы Орталық Азия өңіріндегі ең ірі электр энергетикасы болып табылады, бұл ретте көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станциялары (ЖЭС) басым орын алады, оларға электр энергиясын өндіру көлемінің шамамен 68-70% - ға жуығы тиесілі. Көмір электр станциялары отын шығынының салыстырмалы жоғары көрсеткіштерімен және негізгі қорлар тозуының жоғары үлесімен сипатталады. Отын шығынының артуына әкелетін көмір электр станцияларын пайдаланудағы қиындықтар атап айтқанда әр партияға байланысты көмір сапасының өзгеруінен болады, бұл өз кезегінде жану сипатына да, жану мен қождың мөлшеріне де әсер етеді. Қазақстанда шығарындылардың жаңа стандарттарына көше отырып, қоршаған ортаны қорғау заңнамасының талаптарын күшейту электр станцияларының энергия тиімділігін арттыру міндетін аса өзекті етеді.

Көмірді дайындау, жеткізу және жағу процестерін реттеудің кешенді тәсілін ескере отырып, қазандық қондырғыларының жануы мен жұмысын оңтайландырудың аппараттық-ақпараттық жүйелерін енгізу көмірмен жұмыс істейтін электр станцияларындағы қазандық қондырғыларының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Мақалада жануды оңтайландыру әдістеріне шолу жасалған және ЖЭС-те отынмен жұмыс істеудің бірыңғай ақпараттық жүйесінің архитектурасын құру принципін нұсқасы ұсынылған.

Түйін сөздер: көмір жылу электр станциялары, көмір отынының сапасы, аппараттық-ақпараттық жүйе, жануды оңтайландыру.

INTEGRATED APPROACH TO INCREASING THE EFFICIENCY OF FUEL COMBUSTION AT COAL POWER PLANTS OF KAZAKHSTAN

O.O. Arkhipkin¹, A.A. Kibaryn², N.K. Zhakiyev^{3*}, A.V. Neftisov³

¹JSC "Zhasyl Damu", Nur-Sultan

²Non-profit JSC "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev"

³"Astana IT University" LLP, Nur-Sultan

e-mail: ooarkhipkin@gmail.com, a.kybaryn@aes.kz, nurkhat.zhakiyev@astanait.edu.kz,
Alexander.neftisov@astanait.edu.kz

Annotation. The power industry in Kazakhstan is the largest in the Central Asian region. The dominant position is occupied by coal-fired thermal power plants (TPPs), which account for about 68-70% of the volume of electricity production. Coal-fired power plants are characterized by relatively high rates of fuel consumption and a high

proportion of depreciation of fixed assets. Difficulties in the operation of coal-fired power plants lead to increased fuel consumption rates. They include, among other things, changing the quality of coal depending on the batch. This affects both the nature of combustion and the amount of under burning and slagging. Strengthening the requirements of environmental legislation in Kazakhstan with the transition to new emission standards makes the task of increasing the energy efficiency of power plants extremely urgent.

The introduction of hardware and information systems to optimize the combustion and operation of boiler units, taking into account an integrated approach to regulating the processes of preparation, supply and combustion of coal, will increase the efficiency of boiler units at coal-fired power plants.

In the article, a review of combustion optimization methods is made and a variant of the principle of building the architecture of a unified information system for handling fuel at TPPs is proposed.

Key words: *coal-fired thermal power plants, quality of coal fuel, hardware-information system, combustion optimization.*

Басылымның шығыс деректері

Мерзімді баспасөз басылымының атауы	«Алматы энергетика және байланыс университетінің Хабаршысы» ғылыми-техникалық журналы
Мерзімді баспасөз басылымының меншік иесі	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан
Бас редактор	Профессор, т.ғ.к., В.В. Стояк
Қайта есепке қою туралы куәліктің нөмірі мен күні және берген органның атауы	№ KZ14VPY00024997, күні 17.07.2020, Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігі
Мерзімділігі	Жылына 4 рет (тоқсан сайын)
Мерзімді баспасөз басылымының реттік нөмірі және жарыққа шыққан күні	Жалпы нөмір 55, 4-басылым, 2021 жылғы 30 желтоқсан
Басылым индексі	74108
Басылым таралымы	200 дана
Баға	Келісілген
Баспахана атауы, оның мекен-жайы	«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ баспаханасы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1 үй, А120 каб.
Редакцияның мекен-жайы	050013, Алматы қ., «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, Байтұрсынұлы к-сі, 126/1 үй, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz

Выходные данные

Название периодического печатного издания	Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетики и связи»
Собственник периодического печатного издания	Некоммерческое акционерное общество «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан
Главный редактор	Профессор, к.т.н., Стояк В.В.
Номер и дата свидетельства о постановке на учет и наименование выдавшего органа	№ KZ14VPY00024997 от 17.07.2020 Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан
Периодичность	4 раза в год (ежеквартально)
Порядковый номер и дата выхода в свет периодического печатного издания	Валовый номер 55, выпуск 4, 30 декабря 2021
Подписной индекс	74108
Тираж выпуска	200 экз.
Цена	Договорная
Наименование типографии, ее адрес	Типография НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 120
Адрес редакции	050013, г. Алматы, НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», ул. Байтұрсынұлы, дом 126/1, каб. А 224, тел.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz

Issue output

Name of the periodical printed publication	Scientific and technical journal "Bulletin of the Almaty University of Power Engineering and Telecommunications"
Owner of the periodical printed publication	Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", Almaty, Kazakhstan
Chief Editor	Professor, candidate of technical sciences Stoyak V.V.
Number and date of the registration certificate and the name of the issuing authority	№ KZ14VPY00024997 from 17.07.2020 Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan
Periodicity	4 times a year (quarterly)
Serial number and date of publication of a periodical printed publication	Number 55, edition 4, December 30, 2021
Subscription index	74108
Circulation of the issue	200 copies
Price	Negotiable
The name of the printing house, its address	Printing house of Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", 126/1 Baitursynuly str., office A 120, Almaty, Republic of Kazakhstan
Editorial office address	050013, Non-profit joint-stock company "Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev", A 224, tel.: 8 (727) 292 58 48, 708 880 77 99, e-mail: vestnik@aes.kz