

**Наименование проекта: ИРН АР19675062 «Разработка чистой угольной технологии для получения летучих горючих веществ»**

**Актуальность:**

Частое сжигание мазута может самым нежелательным образом повлиять на надежность энергоснабжения. Это объясняется не только опасностью коррозии, укорачивающей межремонтный срок поверхностей нагрева котлов, но и образованием сажистых отложений, затрудняющих эксплуатацию котлов и забивающих трубчатые воздухоподогреватели и приводящих к взрыву электрофильтров.

Высокая цена на мазут, ряд негативных последствий технико-экономического и экологического характера при сжигании жидкого и твердого топлива, эксплуатационные трудности, связанные с подготовкой к сжиганию и очисткой дымовых газов, делает снижение доли мазута и угля в топливном балансе котлоагрегатов весьма актуальной задачей современной теплоэнергетики.

Эта технология может быть использована на всех пылеугольных ТЭС и котельных. Она позволяет полностью исключить использование мазута для растопки котла и поддержания устойчивого воспламенения пылевидного факела, при работе котла с пониженными нагрузками, а также ограничить сжигание угля в качестве основного топлива ТЭС и котельных.

Это дает значительное снижение финансовых затрат, связанных с дороговизной мазута, снижение выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), оксидов серы ( $\text{SO}_x$ ), оксида углерода ( $\text{CO}$ ) и пятиоксида ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ).

**Цель:** рационализация процессов сжигания жидкого и твердого топлива, путем разработки технологии термической переработки угля для замены растопочного мазута и угля на получаемое газообразное топливо, что повысит экономичность и эффективность работы котлоагрегатов.

**Ожидаемые и достигнутые результаты:**

Для достижения целей проекта планируется получить следующие результаты:

1. Теоретический обзор источников по исследованию и анализу существующих методов растопки пылеугольных котлоагрегатов и термической обработки угля, а именно режимных характеристик работы устройств, температурных условий нагрева.
2. Феноменологическая модель технологии безмазутной растопки и поддержания горения факела летучими горючими веществами, получаемыми из угля.
3. Трехзонная физико-математическая модель топочного пространства камеры нагрева, с определением зон нагрева топлива, выделения горючих газов и других продуктов процесса; стехиометрическая модель полученного горючего органического вещества при развитии процессов генерации горючих газов и горения; физико-математическая модель теплопередачи в теплогенераторе с учетом гидрогазодинамики, конвекции и теплового излучения в технологии.
4. Результаты численного исследования оптимальных параметров технологии получения летучих горючих веществ, получаемыми из угля; температурных условий, условий по давлению, расходу теплоносителя, уровня токсичных эмиссий, технико-экономические требования.
5. Оптимальные параметры топочного пространства камеры нагрева, его конвективной части, параметры условий внутренней геометрической коррективы.
6. Основные требования к установке: по обогреваемой площади, расходу тепла, категориям топлива, продолжительности рабочего цикла камеры, давлению, температурам.

7. Технологическая схема комплексного энергообеспечения удаленных поселков тремя видами энергии: тепловой, электрической и газом для бытовых нужд.

8. Эскизная конструкторская документация на образец камеры нагрева технологии безмазутной растопки и поддержания горения факела летучими горючими веществами, получаемыми из угля

9. Предложения и рекомендации по реализации полученных результатов выполненных исследований; по возможности комплексного энергообеспечения малых удаленных поселков.

10. Три публикации в рецензируемых научных изданиях по научному направлению проекта, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science и (или) имеющих процентиль по CiteScore в базе Scopus не менее 35 (тридцать пять): 2024 – 1 статья, 2025 - 2 статьи.

11. Публикации в отечественных изданиях с ненулевым импакт-фактором (рекомендованных КОКСНВО); 2023 – 1 статья, 2024 – 2 статьи, 2025 – 2 статьи. Внедрение полученных результатов в образовательный процесс Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина, в том числе в курсы дисциплин «Специальные вопросы сжигания топлива», «Котельные установки и парогенераторы», «Теоретические основы ТЭС» по образовательным программам бакалавриата «Теплоэнергетическая инженерия» и «Теплогасоснабжение и экоинженерия в сельском хозяйстве», Образовательным программам магистратуры «Теплоэнергетическая инженерия».

12. Полученная технология может быть использована на всех пылеугольных ТЭС и котельных. Она позволяет исключить использование мазута или природного газа для растопки котла и поддержания устойчивого воспламенения пылевидного факела, при работе котла с пониженными нагрузками, и ограничить использование пылеугольного топлива в котлах малой мощности. Это дает значительное снижение финансовых затрат, связанных с дороговизной мазута, снижение выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), оксидов серы ( $\text{SO}_x$ ), оксида углерода ( $\text{CO}$ ) и пятиоксида ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ). Также снижаются расходы энергии на собственные нужды станции, связанные с многоступенчатой подготовкой мазута к сжиганию. Повышается экономичность и эффективность работы котлоагрегатов.

#### **Результаты 2023 года:**

1. Разработана чистая угольная технология для получения летучих горючих веществ, выделяемых при термической обработке угля и эскизный проект. Данная технология основана на использовании газообразного топлива, получаемого при термической переработке угля.

Выделение горючих летучих осуществляется в топочном устройстве, в котором без доступа кислорода производится прогревание слоя угля. Этот процесс не является газификацией угля, так как нагрев осуществляется только до температур, необходимых для выхода горючих летучих веществ. Температура эта зависит от вида угля, его технических характеристик. Выделившиеся после нагрева горючие летучие вещества в составе  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , и других, в случае растопки напрямую подаются в топку котла после растопки могут накапливаться в специальном газовом хранилище, при определенном давлении, и в дальнейшем использоваться для поддержания горения факела.

В соответствии с разработанной технологией есть возможность полностью исключить использование мазута на станциях, а вместе с тем исключаются все сложности, связанные с его эксплуатацией. По сути, станция становится однопаливной, и основным и растопочным топливом будет являться уголь, используемый на станции. В случае несоответствия теплотехнических характеристик данного угля, для получения

летучих горючих веществ, на станцию может завозиться другой уголь, с большим выходом летучих.

Данный процесс получения летучих горючих из угля не является процессом газификации угля. Технологии газификации более сложные и дорогостоящие. Рассматриваемый процесс отличается от процессов высокотемпературного пиролиза и газификации тем, что нагрев осуществляется только до температур, необходимых для выхода горючих летучих веществ, в необходимом объеме и с достаточной теплотой сгорания, который зависит от характеристик угля.

2. С целью получения газообразного топлива, способного заменить растопочный мазут на пылеугольных станциях, были экспериментально исследованы три вида твердого топлива, месторождения которых находятся в Казахстане: бурый уголь «Майкубенское», каменный уголь «Шубаркульское» и бурый уголь «Сарыадырское».

1 этап экспериментальных исследований:

Для каждого типа углей было проведено по четыре опыта, отличающихся температурой нагрева.

Предварительно обработанный образец угля (частица размером около 5 мм) помещалась на подложку в экспериментальной камере. Далее проводилось плавное повышение напряжения. В результате повышения напряжения и повышения температуры начинается процесс термической деструкции образца тем самым инициируя возгонку летучих соединений, после чего нагрев продолжался при поддержании постоянного уровня напряжения, за счет регулировки тока.

Продолжительность эксперимента ограничивалось достижением заданного значения максимальной температуры 600 °С. Были исследованы все получаемые продукты термического процесса: газовые, жидкие и твердые.

Второй этап экспериментальных исследований:

Второй этап экспериментальных исследований заключался в определении количественного состава горючего газа, полученного из представленных выше образцов углей трех месторождений, путем термической обработки проб угля, при различных скоростях нагрева.

Исследования проводились на той же экспериментальной установке. Для каждого типа углей было проведено по четыре опыта, отличающихся скоростью нагрева.

Продолжительность эксперимента ограничивалось достижением заданного значения максимальной температуры 800 °С.

Результаты проведенных экспериментов по определению состава горючего газа показали, что с увеличением интенсивности нагрева всех представленных типов углей снижается концентрация диоксида углерода  $\text{CO}_2$ , водорода  $\text{H}_2$  и метана  $\text{CH}_4$ . На фоне вышеописанных изменений наблюдается увеличение содержания монооксида углерода  $\text{CO}$ , значение которого компенсирует концентрацию горючих компонентов и увеличивает показатель теплоты сгорания, получаемого газа.

По результатам проведенных работ опубликована статья:

А.К.Мергалимова, С.Б. Ыбрай, А.В.Атыкшева, Б.Т.Бахтияр. Қазандық өртіне арналған таза көмір технологиясы // Вестник ТоУ, Энергетическая серия. - 2023. - №3. - С. 244-256. [171.pdf \(tou.edu.kz\)](#)

**Члены исследовательской группы:**

**руководитель проекта –**

**1) Мергалимова Алмагуль Каирбергеновна – научный руководитель проекта, PhD «Теплоэнергетика».**

Осуществляет руководство проектом «Разработка эффективной технологии безмазутной растопки котла летучими горючими веществами, получаемыми при термической обработке угля». Занимается организацией работ, экспериментальных исследований, заключением договоров и соглашений, подготовкой и публикацией статей, координацией работы всех исполнителей программы.

Сфера научных интересов: теплоэнергетика, тепловые электрические станции, термическая обработка топлив, газификация. Является автором способа на котором основывается данная технология. Наличие научного задела: патента и публикаций по тематике проекта. Является одним из автором способа, на котором основывается данная технология.

Является аттестованным энергоаудитором, руководителем центра Энергосбережения и распространения знаний «Астана» при НАО «КАТУ им.С.Сейфуллина», рецензентом научного журнала «Вестник ТоУ» при Торайгыров университете, г. Павлодар, экспертом образовательных программ высшего и послевузовского образования "Центра Болонского процесса и академической мобильности" МОН РК, экспертом РНПЦ «Учебник», экспертом научных проектов центра научно-технической информации при Министерстве инновационного развития Узбекистана.

Всего опубликовано 45 работ, 9 из которых в Web of Science и Scopus. 1 статья квартиль Q1, процентиль 98, 2 статьи Q2, 2 патента РК на полезную модель.

Индекс Хирша в Scopus- 3, Web of Science – 1., Web of Science Researcher ID: [AAG-2522-2021](https://orcid.org/0000-0002-5990-8182), <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182> , Scopus Author ID: 57202363283 [Mergalimova, A. - сведения об авторе - Scopus](#)

#### **исследовательская группа:**

**2) Атякшева Алескандра Владимировна** – исполнитель, (специальность – «Теплогазоснабжение и вентиляция») кандидат технических наук, ассоциированный профессор. В проекте участвует во всех этапах НИОКР проекта. Расчёт и моделирование процессов тепломассообмена и генерации горючих газов. Подготовка отчета, статей и патентов. Имеет опыт исследовательской деятельности при выполнении проектов: «Совершенствование нормативно-технической базы в топливно-энергетическом комплексе» (Заказчик: Министерство энергетики Республики Казахстан, 2018). Разработано 12 Методических указаний, в том числе по теме проекта «Методика расчета норм расхода газомазутного топлива при сжигании бурых углей с выходом летучих веществ более 30 % на тепловых электростанциях», «Методика расчета норм расхода газомазутного топлива при сжигании каменных углей с выходом летучих веществ менее 20 % на тепловых электростанциях». Являлась ответственным исполнителем проекта «Научно-теоретическое исследование перевода верхнего оборудования специальной техники (ППУ, АДПМ и др.), сварочных и компрессорных установок (УДД-400 и др) АО «Актобемунайгаз» с жидкого на газообразное топливо (Заказчик: АО «Актобемунайгаз», 2019). Разработала 6 Профессиональных Стандартов, в том числе Профессиональные Стандарты «Монтаж и эксплуатация систем газоснабжения» и «Монтаж и эксплуатация санитарно-технических устройств и вентиляции». (Заказчик: Министерство труда и социальной защиты РК).

Индекс Хирша в Scopus -2, Идентификатор автора Scopus: 57204188485 [Atyaksheva, Alexandra V. - сведения об авторе - Scopus](#), <https://orcid.org/0000-0003-2523-3890>.

**3) Бахтияр Балжан Төрешалкызы** – исполнитель, (специальность – Теплоэнергетика) кандидат технических наук, ассоциированный профессор.

Участвует во всех этапах проекта, в проведении расчётно – аналитических исследований, подготовка отчетов, статей, патентов, расчёте режимов и моделирование выбросов токсичных веществ.

Индекс Хирша в Scopus -2, Идентификатор автора Scopus: 57219651463, [Bakhtiyar, Balzhan T. - сведения об авторе - Scopus](#),

**4) ILIEV ILIYA KRASTEV** – исполнитель, зарубежный ученый, PhD, профессор кафедры промышленной теплотехники Русенского университета, Болгария.

Принимает участие в разработке чистой угольной технологии для получения летучих горючих веществ, в участии на международных конференциях с целью апробации

результатов исследований, в подготовке и публикации статей с импакт фактором, входящих в базы данных WoS и Scopus.

Всего опубликовано более 200 публикаций, 17 патентов. Индекс Хирша – 5.

Идентификатор автора Scopus: 56410563800. ORCID<https://orcid.org/0000-0003-4443-5113>.

**5) Ыбрай Султан Барлымбайұлы** – исполнитель, магистр технических наук, докторант по специальности «Теплоэнергетика». В данном проекте занимает позицию исполнителя. В проекте занимается сбором и систематизацией информации, организации и проведении экспериментальных исследований, обработкой результатов исследований.

Участие Ыбрай С.Б. в проекте обосновано тем, что сфера его научных исследований, как докторанта, совпадает с тематикой проекта: теплоэнергетика, тепловые электрические станции, декарбонизация, снижение вредных выбросов при сжигании органического топлива, и будет полезно как для проекта, так и в его исследованиях и написании докторской диссертации. Участие молодых исследователей является одним из требований КД проекта.

Индекс Хирша в Scopus -1, Web of Science – 1 <https://orcid.org/0000-0002-5262-2149>  
Scopus Author ID: 57202946965 Web of Science ResearcherID: ABB-1483-2021

**Список публикаций и патентов опубликованные в рамках данного проекта: (со ссылками на них):**

1. A. Mergalimova, B. Ongar, A. Georgiev, K. Kalieva, R. Abitaeva, P. Bissenbayev Parameters of heat treatment of coal to obtain combustible volatile substances. DOI:10.1016/j.energy.2021.120088 (БД Scopus показатель процентиль по Cite Score – 98, БД Web of Science – Q1.) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544221003376>.
2. B. Ongar, A. Mergalimova, H. Beloev, G.M. Yergaliyeva. Research of the Formation of Nitrogen Oxides during the Burning of Ekibastuz Coal. 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, EE and AE. - 2020. (БД Scopus показатель процентиль по Cite Score – 71,4, БД Web of Science – Q2.) ID number 20279289. DOI:10.1109/EEAE49144.2020.9279104 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9279104>
3. B. Ongar, A. Mergalimova, H. Beloev, N.M. Aitzhanov. Methodology and Results of the Experiment of the Formation of Nitrogen Oxides in a Powder Torch. 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering, EE and AE 2020 – Proceedings. - EID:2-s2.0-85099580398 (БД Scopus показатель процентиль по Cite Score – 24, БД Web of Science – Q2) DOI:10.1109/EEAE49144.2020.9279084 <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.85099580398&partnerID=MN8TOARS>.
4. B. Ongar, I. Iiev, G. Smagulova, A. Mergalimova. Numerical Simulation of the Formation of Nitrogen Oxides in Pulverized Furnaces. Journal of Engineering Science and Technology Review. 2020, Pages 171-175 (БД Scopus показатель процентиль по Cite Score – 25) DOI:10.21303/2461-4262.2022.002102. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0.85101777498&partnerID=MN8TOARS>
5. B. Aliyarov, A. Mergalimova, O. Talipov, N. Tanyrbergenov. Technology of boilers' oil-free kindling and stabilization of pulverized coal torch's ignition. AIP Conference Proceedings 2337, 040001 2021. (БД Scopus показатель процентиль по CiteScore – 17) <https://doi.org/10.1063/5.0047322>. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0047322>
6. B. Aliyarov, A. Mergalimova, U. Zhalmagambetova, Application of Coal Thermal Treatment Technology for Oil-Free Firing of Boilers. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 201855 (2). С.45-55. (БД Scopus показатель процентиль по CiteScore – 29, БД Web of Science – Q3) <https://doi.org/10.1063/5.0047322>. <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0047322>.

7. Baubek A., Atyaksheva A., Zhumagulov M., Kartjanov N., Plotnikova I., Chicherina N. Complex Studies of the Innovative Vortex Burner Device with Optimization of Design. *Studies in Systems, Decision and Control* Том 351, DOI 10.1007/978-3-030-68103-6\_13 (SCOPUS percentile Cite Score – 60; Citation -2).
8. Хорошавин А.В., Атыкшева А.Д. К вопросу об эколого-экономической эффективности использования элементов техногенных отходов теплоэнергетического производства// Актуальные вопросы современной науки – Москва, 2018. - № 2 (18). – С. 18-19. <http://otkritieinfo.ru/f/zh18.pdf>
9. A.V.Atyaksheva, A.D. Atyaksheva, N.V. Ryvkina, M.T. Yermekov, O.V. Rozhkova, A.S Smagulov. Effectiveness analysis of Maikuben brown coal combustion in the heating boiler “Kamkor-300”. Journal of Physics: Conference Series. (2022) ID № 2111 012003. doi:10.1088/1742-6596/2211/1/012003 (БД SCOPUS percentile Cite Score – 18, Web of Science – Q4).
10. ORUMBAYEV, R. K., KIBARIN Andrey, BAKHTIYAR Balzhan, KASSIMOV Arman, KOROBKOV Maxim. Research of combustion modes during layer-burning of shubarkul coal on the fire grate with the hand furnace of the ksvr-0.43 hot water boiler. *Periodico Tche Quimica*, Том 17, Выпуск 36, Страницы 856 – 870, 2020 г (БД SCOPUS percentile Cite Score – 72). [RESEARCH OF COMBUSTION MODES DURING LAYER-BURNING OF SHUBARKUL COAL ON THE FIRE GRATE WITH THE HAND FURNACE OF THE KSVR-0.43 HOT WATER BOILER.](#)
11. Iliev I.K, A.K. Terziev, H.I. Beloiev I. Nikolaev and A. G. Georgiev. [Comparative analysis of the energy efficiency of different types co-generators at large scales CHPs.](#)// Energy, 2021, No 221, pp. 119755, ISSN 0360-5442. (Impact factor: 7.147 /2021, <https://mjl.clarivate.com>)
12. Genbach A.A., D. Yu. Bondartsev, I. K. Iliev, A. G. Georgiev. Scientific method of creation of ecologically clean capillary-porous systems of cooling of power equipment elements of power plants on the example of gas turbines.// Energy, 2020, No 199, pp. 117458, ISSN 0360-5442. (Impact factor: 6.082 /2020, (<https://mjl.clarivate.com>))
13. A. M. Dostiyarov, D. R. Umyshev, Zh. S. Duissenbek, I. K. Iliev, H. I. Beloiev, S. Ph. Ozhikenova. [Numerical investigation of combustion process behind bluff bodies during separation.](#)// Bulgarian Chemical Communications, 2020, No 52, pp. 12-19, ISSN 0324-1130. (SJR rank: 0.18 /2020, SJR)
14. Ongar B., H.Beloiev, I.Iliev, A. Ibrasheva, A. Yegzekova. [NUMERICAL SIMULATION OF NITROGEN OXIDE FORMATION IN DUST FURNACES.](#)// EUREKA: Physics and Engineering, 2022, No 1, pp. 23-33 (SJR rank: 0.3 /2021, scimagojr)
15. Segeda T.A., M.T. Tumendayeva, N.G. Borissova, I.K. Iliev. [Structural components of thermophysical and thermodynamic properties of energy working bodies based on the cluster model.](#)// Bulletin of Almaty University of Rower Engineering and Telecommunications, 2021, No 4(55), pp. 39-50, ISSN 2790-0886.
16. Temirbekova M., M. Aliyarova, I. Iliev, A. Yelemanova, and S. Sagintayeva. [The generation of a mathematical model of the biogas production process from organic municipal solid waste.](#)// E3S Web of Conferences, 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2020), 2020, No 180, pp. 1-12 (SJR rank: 0.2 /2020, SJR)
17. Iliev I.,A.Terziev, H.Beloiev, C.Iliev. [Specifics in the operating modes of thermosiphon air heater of steam generators №1 and №2 in TPP Republika at fuel switch from coal to natural gas.](#)// Proceedings of a meeting held 9-13 October 2018, Cluj Napoca, Romania, E3S Web of Conferences, 2019, No volume 85, pp. 1-6, ISSN 9781510881532. (SJR rank: 0.174 /2019, SJR)
18. Genbach A.A., D Yu. Bondartsev, I.K.Iliev. Research of the limit thermal stresses for porous coatings of energy elements.// Новости науки Казахстана, 2019, No 3 (141), pp. 71-85, ISSN 1560-5655. (Impact factor: 0.103 /2018, RINC)

19. Genbach A., D.Yu. Bondartsev, I.K. Iliev. [Investigation of the destruction of the heating surface coated by porous structure in elements of thermal power units.](#)// Научно-технический журнал, 2018, No 2, pp. 42-55, ISSN 1560-5655. (*Impact factor: 0.073 /2017, RINC*)

20. Bulbul Ongar, Piya K. Iliev, Vlastimir Nikolić, Aleksandar Milašinović. [The study and the mechanism of nitrogen oxides' formation in combustion of fossil fuels.](#)// FACTA UNIVERSITATIS, Series: Mechanical Engineering Vol. 16, No 2, 2018, No 2, pp. 273 - 283, ISSN 2335-0164. (*SJR rank: 0.6 /2019, JCR (Q1)*)

### **Информация для потенциальных пользователей:**

В обозримой перспективе Стратегия «Казахстан – 2050» ориентирует нас на приоритетное освоение высокоэффективных передовых технологий, без чего невозможно динамичное развитие экономики государства.

Одним из направлений развития топливно-энергетического комплекса становится реализация новейших угольных технологий

Современные чистые угольные технологии должны обеспечивать более полное использование химической энергии твердого топлива, компактность основного оборудования и иметь высокую эффективность с наименьшими выбросами вредных веществ.

При сжигании топлива на ТЭС образуются продукты сгорания, в которых содержатся: летучая зола, частички несгоревшего пылевидного топлива, серный и сернистый ангидрид, оксид азота, газообразные продукты неполного сгорания. При сжигании мазута образуются соединения ванадия, кокс, соли натрия, частицы сажи. В золе некоторых видов топлива присутствует мышьяк, свободный диоксид кальция, свободный диоксид кремния.

Частое сжигание мазута может самым нежелательным образом повлиять на надежность энергоснабжения. Это объясняется не только опасностью коррозии, укорачивающей межремонтный срок поверхностей нагрева котлов, но и образованием сажистых отложений, затрудняющих эксплуатацию котлов и забивающих трубчатые воздухоподогреватели и приводящих к взрыву электрофильтров.

Высокая цена на мазут, ряд негативных последствий технико-экономического и экологического характера при сжигании жидкого и твердого топлива, эксплуатационные трудности, связанные с подготовкой к сжиганию и очисткой дымовых газов, делает снижение доли мазута и угля в топливном балансе котлоагрегатов весьма актуальной задачей современной теплоэнергетики.

Целью данного проекта является - рационализация процессов сжигания жидкого и твердого топлива, путем разработки технологии термической переработки угля для замены растопочного мазута угля на получаемое газообразное топливо, что повысит экономичность и эффективность работы котлоагрегатов.

Эта технология может быть использована на всех пылеугольных ТЭС и котельных. Она позволяет полностью исключить использование мазута для растопки котла и поддержания устойчивого воспламенения пылевидного факела, при работе котла с пониженными нагрузками, а также ограничить сжигание угля в качестве основного топлива ТЭС и котельных.

Это дает значительное снижение финансовых затрат, связанных с дороговизной мазута, снижение выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), оксидов серы ( $\text{SO}_x$ ), оксида углерода (CO) и пятиоксида ванадия ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ).