

Плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию в топочной камере ТЭС

- В настоящее время в Казахстане около 85 % электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях (ТЭС), основным топливом которых является уголь. Более 80 % угля, сжигаемого на ТЭС, является низкосортным, таким, например, как Экибастузский уголь, зольность которого составляет 40-50 %. При использовании низкосортных углей увеличивается расход мазута или природного газа, используемых для растопки котла, подхвата и стабилизации горения пылеугольного факела, и ухудшается экологическая обстановка.
- Для повышения эффективности использования топлива разрабатываются различные методы сжигания и использования разного топлива. Широкое развитие получили технологии, связанные с воспламенением топлив с помощью низкотемпературной плазмы. Для снижения вредных пылегазовых выбросов разработана плазменная технология воспламенения, термохимической подготовки и сжигания углей и реализующие ее плазменно-топливные системы (ПТС).

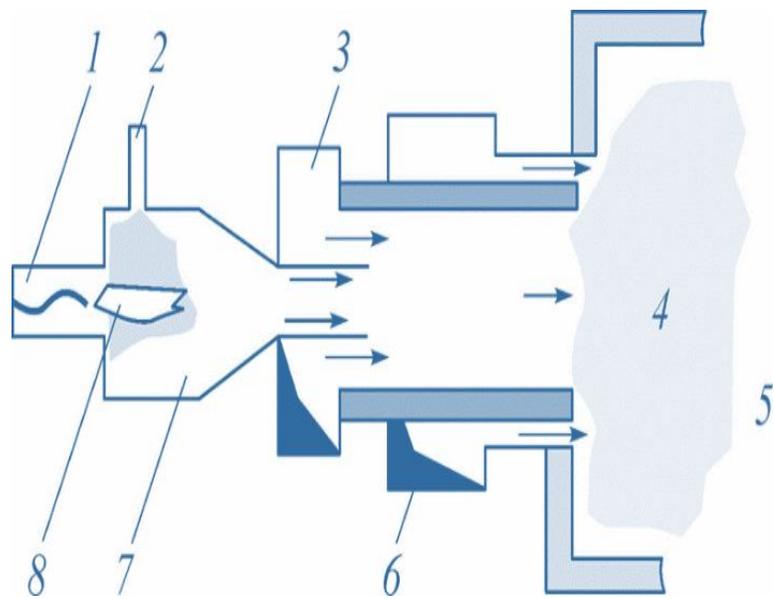
Плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию в топочной камере ТЭС

- В данной работе предложено внедрение современной технологии плазменного воспламенения и стабилизации пылеугольного топлива на казахстанских ТЭС, используя при этом новейшие информационные технологии и методы 3D-компьютерного моделирования. Это позволит оптимизировать процессы, происходящие при сжигании высокозольного энергетического топлива, уменьшить вредные пылегазовые выбросы в атмосферу (оксиды углерода, оксиды азота, зола и т.д.), создать и внедрить в будущем способ получения «чистой» энергии.

Плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию в топочной камере ТЭС

- Процесс плазменной термохимической подготовки топлива к сжиганию осуществляется в плазменно-топливной системе (ПТС).
- Плазмотрон устанавливается на футерованный канал аэросмеси горелки, которая тем самым преобразуется в ПТС и устанавливается непосредственно в топочную камеру.
- Схема используемого плазмотрона в вихревой горелке, используемой в исследуемых топочных камерах, изображена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Разработанный плазмотрон в цилиндрической вихревой горелке



- 1 – плазмотрон;
- 2 – меньшая часть аэросмеси;
- 3 – основная часть аэросмеси;
- 4 – факел продуктов плазменной термохимической подготовки аэросмеси;
- 5 – топочное пространство;
- 6 – вторичный воздух;
- 7 - камера электротермохимической подготовки топлива к сжиганию;
- 8 – плазменный факел

Таблица 1 – Технические характеристики плазмотрона

Мощность плазмотрона, кВт	50-350
Напряжение, В	250-400
Ток дуги, А	200-900
Масса плазмотрона, кг	25-35
Масса источника электропитания, кг	450
Ресурс электродов плазмотрона, ч	250 (катод); 500 (анод)
Расход плазмообразующего газа (воздух), кг/ч	20-80
Температура плазменного факела, К	3000-6000

Плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию в топочной камере ТЭС

- Плазменная термохимическая подготовка угля к сжиганию заключается в нагреве плазменным факелом при дефиците кислорода потока пылеугольной смеси в специальной камере до температуры, превышающей температуру самовоспламенения данного угля.
- Поступающая в горелку аэросмесь взаимодействует с плазменной струей, вытекающей из сопла плазмотрона. Средняя температура плазменной струи составляет $\sim 5000^{\circ}\text{C}$ в зависимости от электрической мощности плазмотрона и расхода плазмообразующего воздуха.
- При этом происходит практически полный выход летучих веществ и частичное сгорание и газификация углерода угля.
- В результате полученная топливная смесь, состоящее из горючего газа и коксового остатка, воспламеняется при смешении с вторичным воздухом и устойчиво горит без использования для стабилизации пылеугольного факела даже в холодной топке резервного высокорекреационного топлива (мазута или природного газа).

Плазменная термохимическая подготовка топлива к сжиганию в топочной камере ТЭС

- Представлены результаты 3D-компьютерного моделирования, влияния термохимической активации пылеугольных потоков на процесс горения пылеугольного факела в топочных камерах котлов: БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2, ПК-39 Аксуйской ГРЭС и БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3.
- На рисунке 2 представлен общий вид топочных камер казахстанских котлов: БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2, ПК-39 Аксуйской ГРЭС и БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3, оборудованных плазменно-топливными системами.
- Схема камер сгорания котлов и разбивка ее на контрольные объемы представлена на рисунке 3.

Рисунок 2 - Общий вид топочных камер котлов, оборудованных плазмотронами

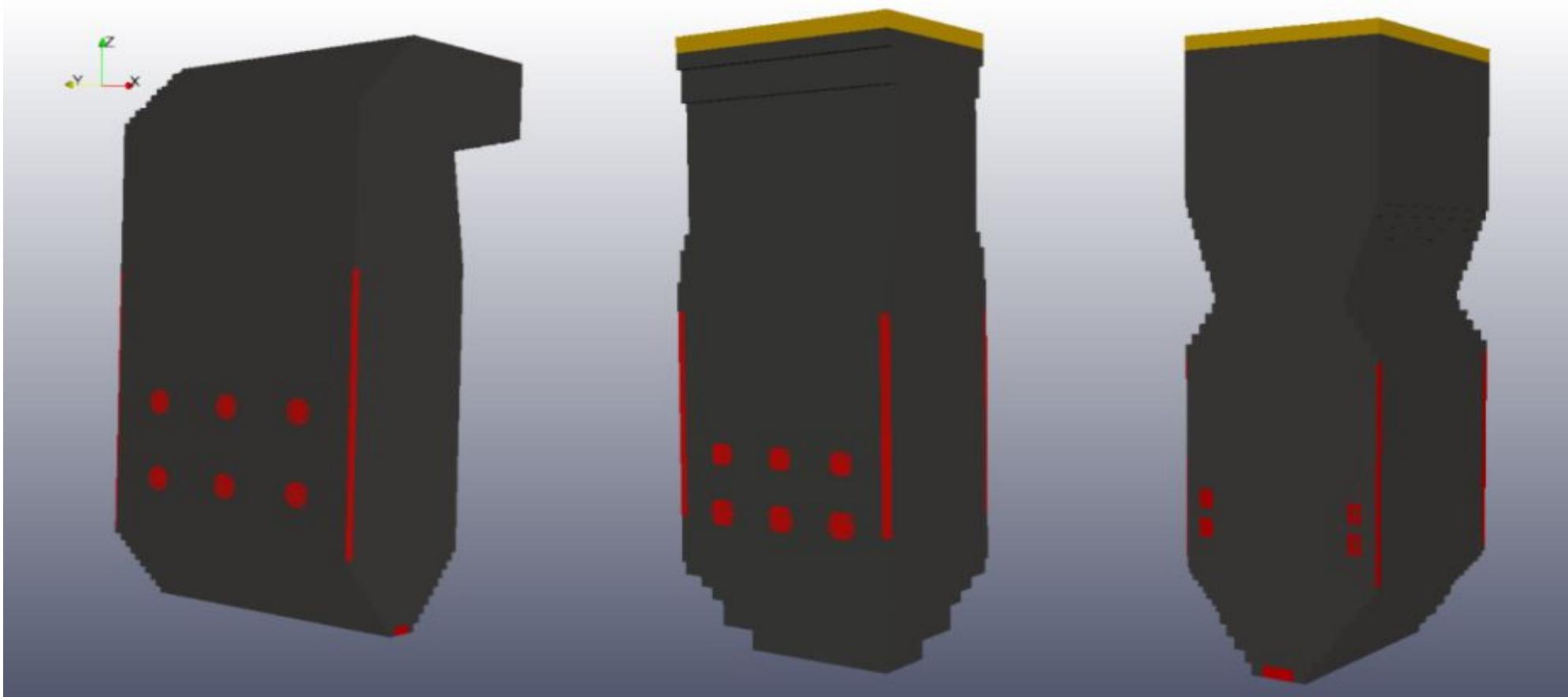


Рисунок 3 – Разбивка на контрольные объемы ТОПОЧНЫХ камер котлов, оборудованных плазмотронами

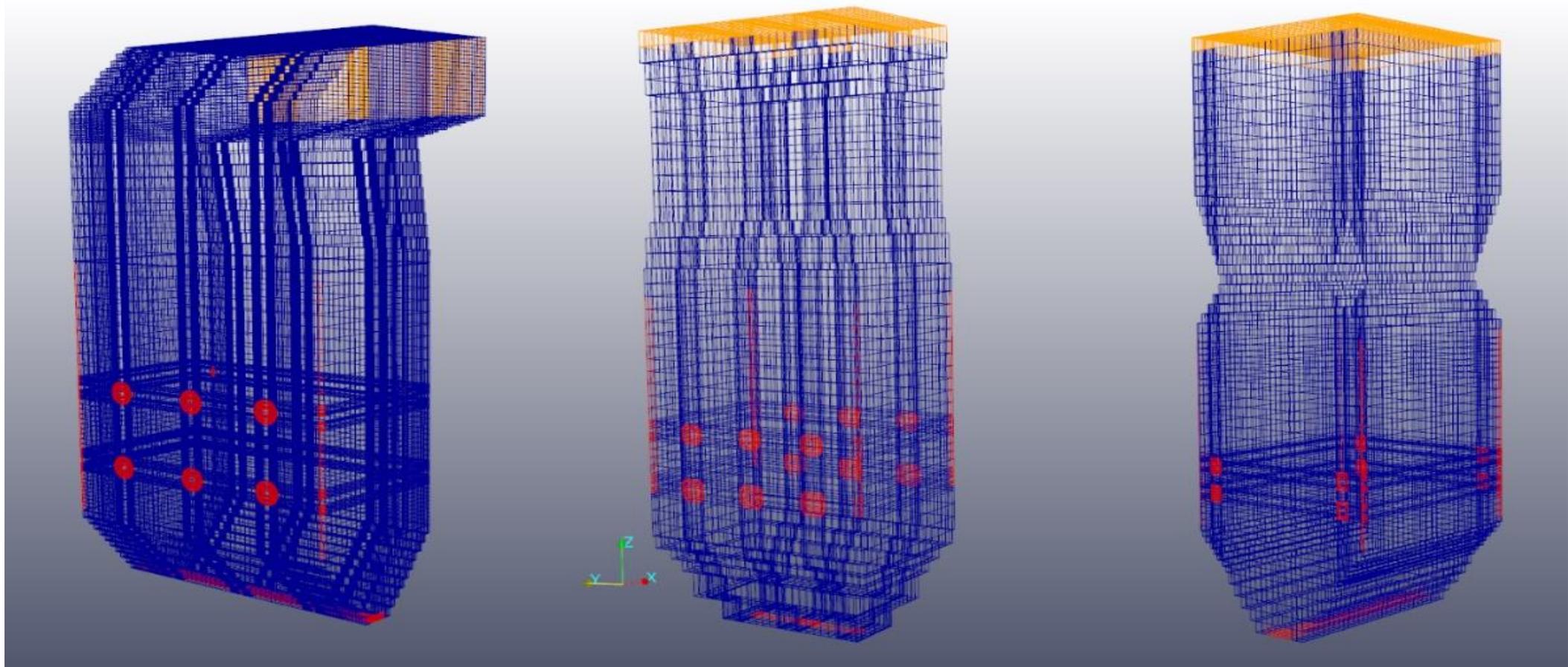
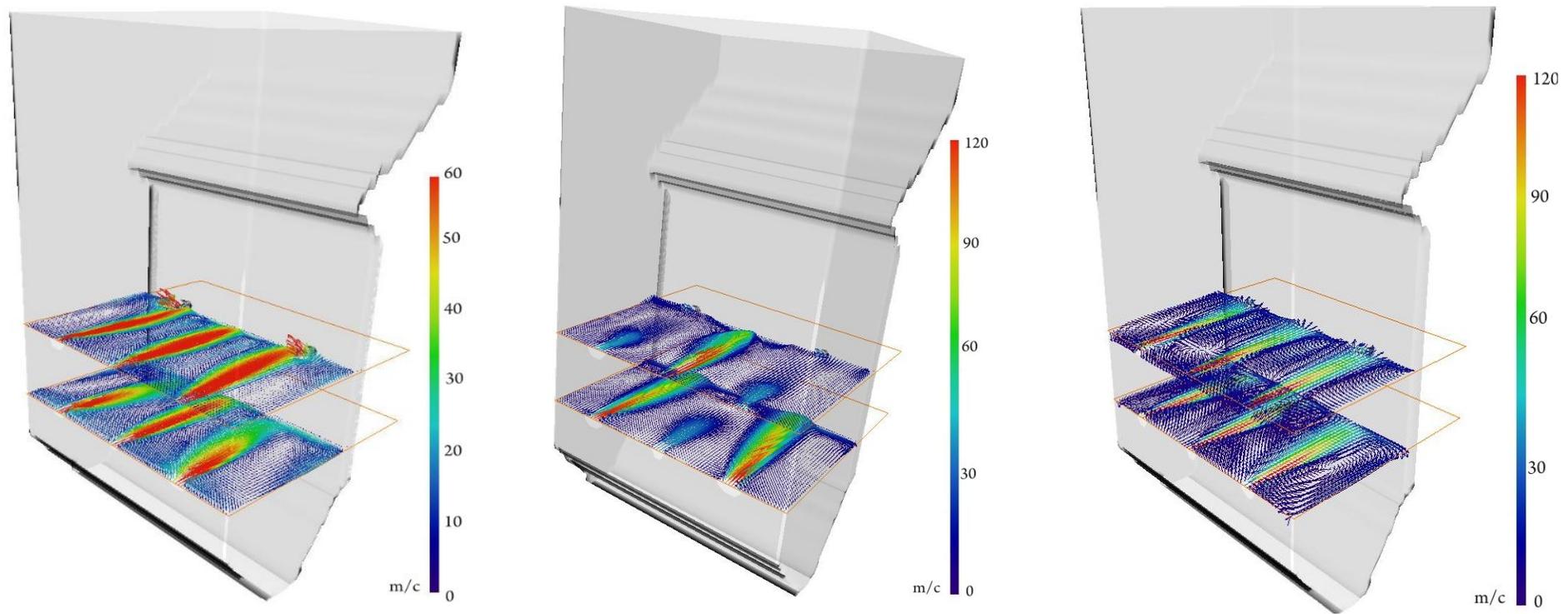


Рисунок 3 – Разбивка на контрольные объемы топочных камер котлов, оборудованных плазмотронами

- Расчетная область исследуемых котлов зависит от их размеров и составляет:
- БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2 – 1261008 контрольных объемов (72x139x126);
- ПК-39 Аксуйской ГРЭС – 894 432 контрольных объемов (56x121x132);
- БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3 – 177 472 контрольных объёмов (59x32x94).
- Эти котлы отличаются между собой по мощности, по геометрии топочной камеры, по ее размерам, по способу подачи топлива и окислителя, по компоновке горелочных устройств и плазменных горелок.
- В результате проведенных вычислительных экспериментов были получены распределения вектора полной скорости, температурные поля, поля концентраций оксидов азота NO по всему объему топочной камеры и проведен сравнительный анализ для трех исследуемых котлов.

Рисунок 4 – Поле вектора полной скорости в области пояса горелок топочной камеры котла БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2



а) традиционное сжигание топлива
(без ПТС);

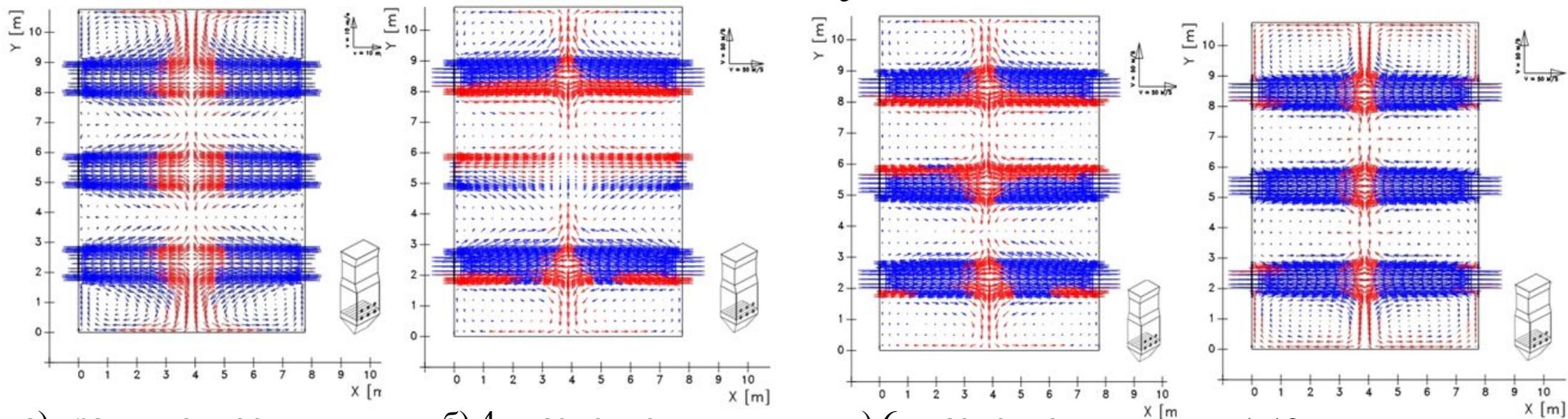
б) 3 плазменно-топливные системы;

в) 6 плазменно-топливных систем

Поле вектора полной скорости в области пояса горелок топочной камеры котла БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2

- Анализ полученных полей скоростей в объеме топочной камеры БКЗ-420 показывает, что активация пылеугольного потока оказывает значительное влияние на поле течения: на распространение реагирующей струи в объеме топки, процессы подмешивания в струе, на размеры, форму пламени.
- Можно заметить различие в распределении пылеугольных потоков, поступающих в топку через обычные горелки и через плазменно-топливные системы. Основной причиной изменения в распределении скоростей в топочном пространстве является увеличение скорости поступающей в камеру сжигания топливной смеси (высокорреакционное топливо + вторичный воздух). С увеличением числа термохимически активированных потоков (3, 6 плазменных горелок) наблюдается более четкая граница движения потоков из горелок, оснащенных плазматронами.
- Под действием плазменной активации пылеугольных струй усиливается турбулизация потоков и в значительной степени ускоряется массо- и теплообмен, а усиливающееся при этом смесеобразование и нагрев интенсифицируют процесс горения.

Рисунок 5 – Поле вектора полной скорости в сечении горелок топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС



а) традиционное сжигание топлива (без ПТС)

б) 4 плазменно-топливные системы

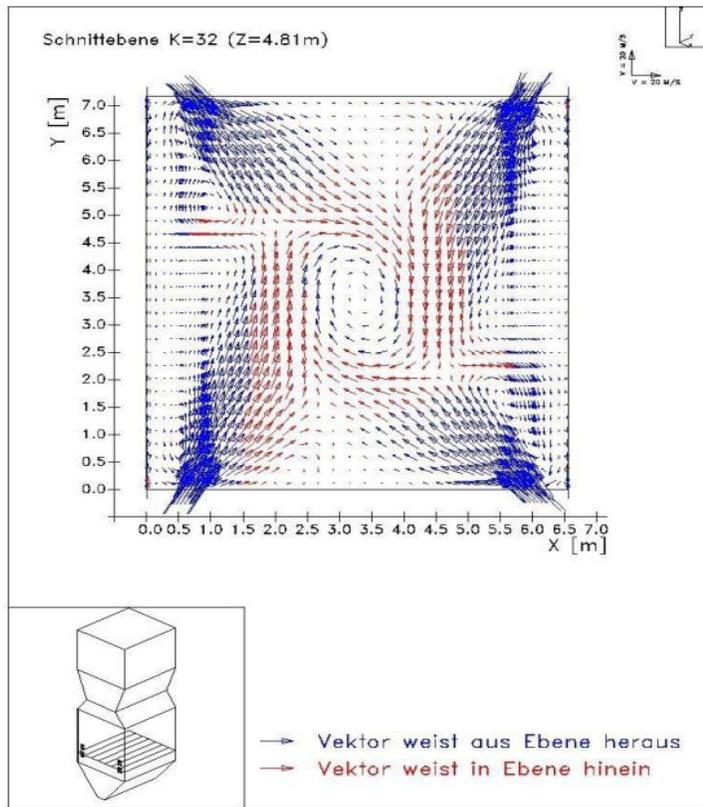
в) 6 плазменно-топливных систем

г) 12 плазменно-топливных систем

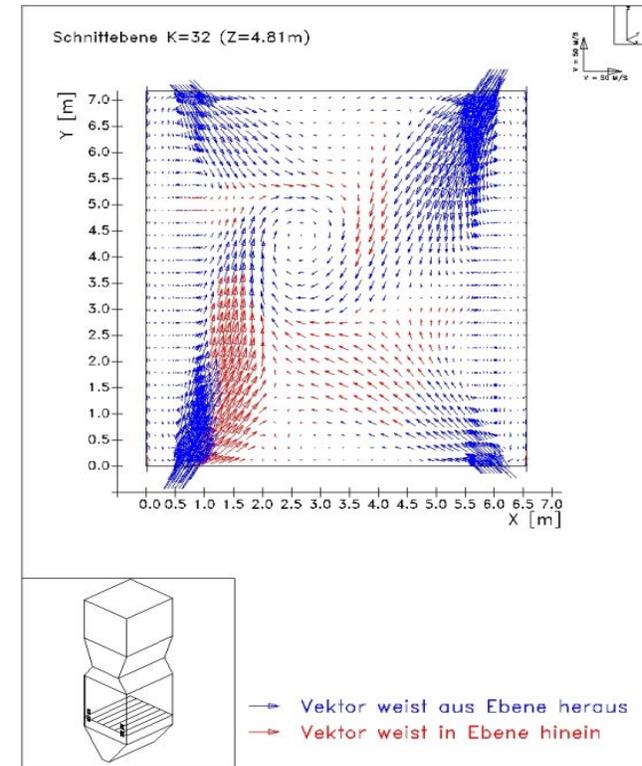
Рисунок 5 – Поле вектора полной скорости в сечении горелок топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС

- Анализ рисунка 5 показывает, что с увеличением числа термохимически активированных потоков (4, 6, 12 плазменных горелок) ядро факела смещается к центру симметрии топочной камеры котла ПК-39.
- В месте соударения встречных потоков в результате торможения динамический напор трансформируется в статическое давление. Под действием образовавшегося перепада давления общий поток растекается вверх и вниз с повышенными скоростями.
- При соударении встречных факелов и турбулизации потоков в значительной степени ускоряется массо- и теплообмен, а усиливающееся при этом смесеобразование и нагрев интенсифицируют процесс горения.

Рисунок 6 - Распределение вектора полной скорости в области расположения горелок топочной камеры котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3



а) традиционное сжигание топлива (без ПТС)

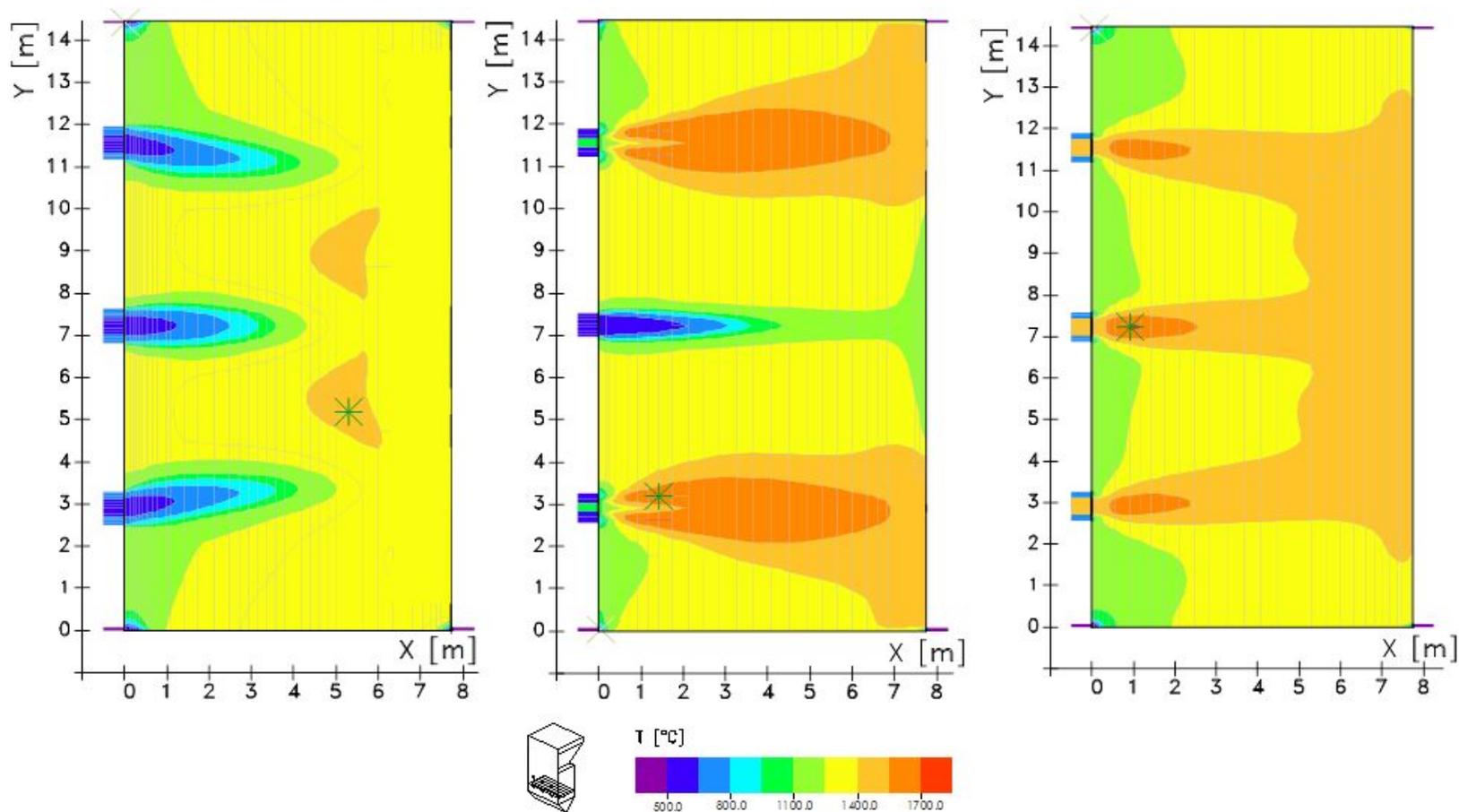


б) 2 плазменно-топливные системы

Рисунок 6 - Распределение вектора полной скорости в области расположения горелок топочной камеры котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3

- Рисунок 6 указывает на существенное различие между двумя исследуемыми случаями для котла БКЗ-160.
- На рисунке 6, б отчетливо видны потоки пылеугольной смеси, поступающие в топку через обычные горелки и через плазменно-топливные системы.
- В объеме топочной камеры БКЗ-160 потоки двухкомпонентного высокорекреационного топлива, газифицированные с помощью плазменной активации, распространяются в соответствии с законами аэродинамики и являются тепловым источником для аэросмеси, подаваемой через горелки, не оснащенные системами плазменного воспламенения.

Рисунок 7 – Поле температуры в плоскости сечения горелок нижнего яруса топочной камеры котла БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2



а) традиционное сжигание топлива (без ПТС);

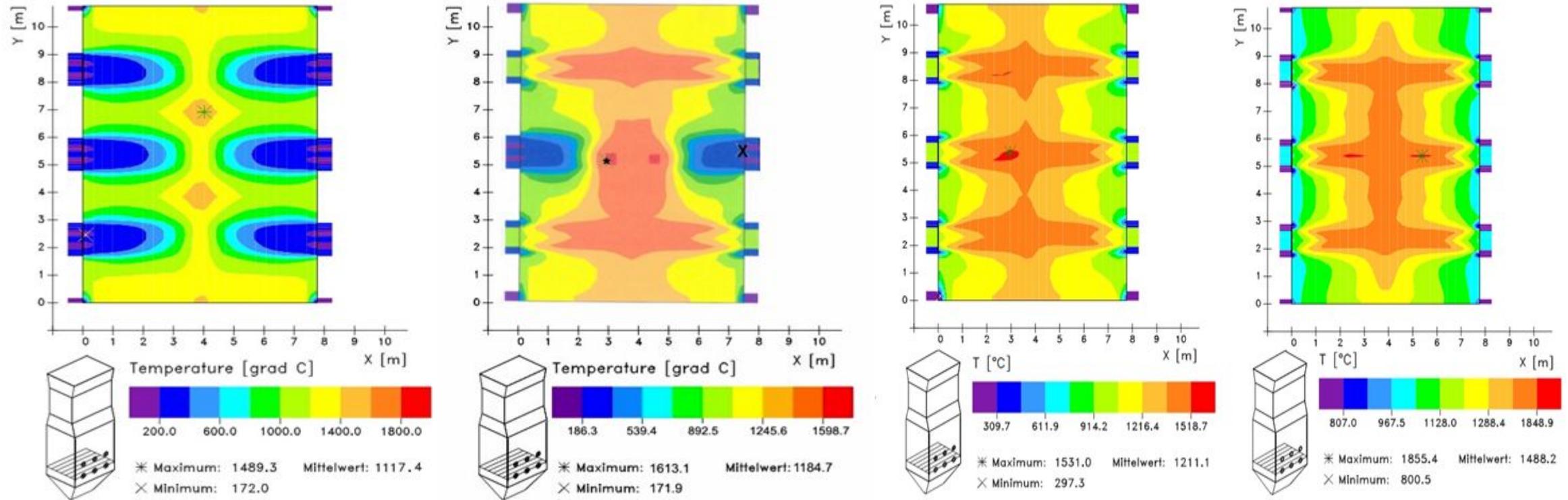
б) 3 плазменно-топливные системы;

в) 6 плазменно-топливных систем

Рисунок 7 – Поле температуры в плоскости сечения горелок нижнего яруса топочной камеры котла БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2

- Рисунок 7 для котла БКЗ-420 иллюстрирует температурные поля в области сечения горелок нижнего яруса топочного пространства. Мы видим существенное различие для трех рассматриваемых случаев. По сравнению с использованием обычного пылеугольного потока среднее значение температуры в плоскости сечения горелок с увеличением числа термохимически активированных потоков увеличивается и составляет: без активации – 1530°С; три активированных потока – 1640 °С; шесть активированных потоков – 1680 °С.
- Таким образом, можно сделать вывод о том, что плазменная активация горения аэросмеси приводит к быстрому нагреву и воспламенению аэросмеси. При этом наблюдается смещение фронта горения к месту расположения систем плазменной активации угольных потоков.
- Область высоких температур при увеличении числа активированных плазмой потоков смещается к центру симметрии топки, при этом у боковых поверхностей также наблюдается более высокий уровень температур.
- Кроме того, ускорение прогрева и воспламенения топлива с увеличением числа термохимически активированных потоков ведет к более быстрой стабилизации высокоинтенсивных процессов горения.

Рисунок 8 - Поле температуры в плоскости сечения горелок нижнего яруса топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС



а) традиционное сжигание топлива (без ПТС)

б) 4 плазменно-топливные системы

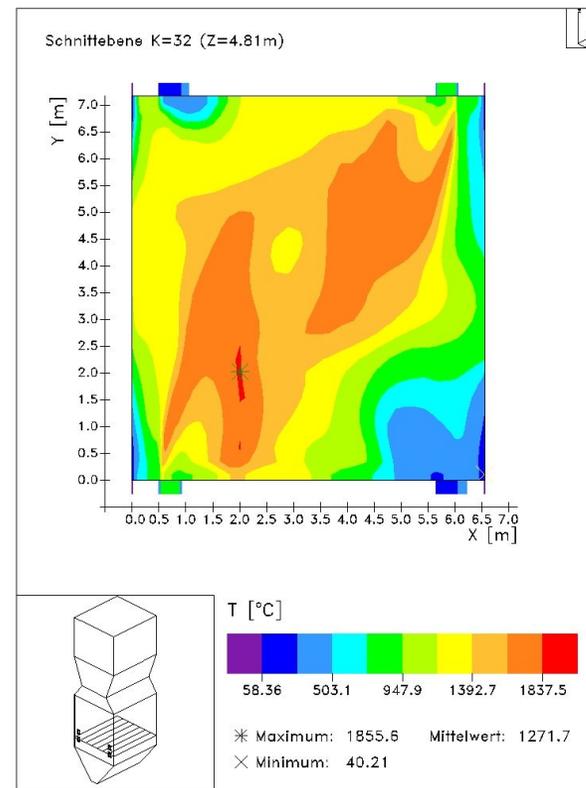
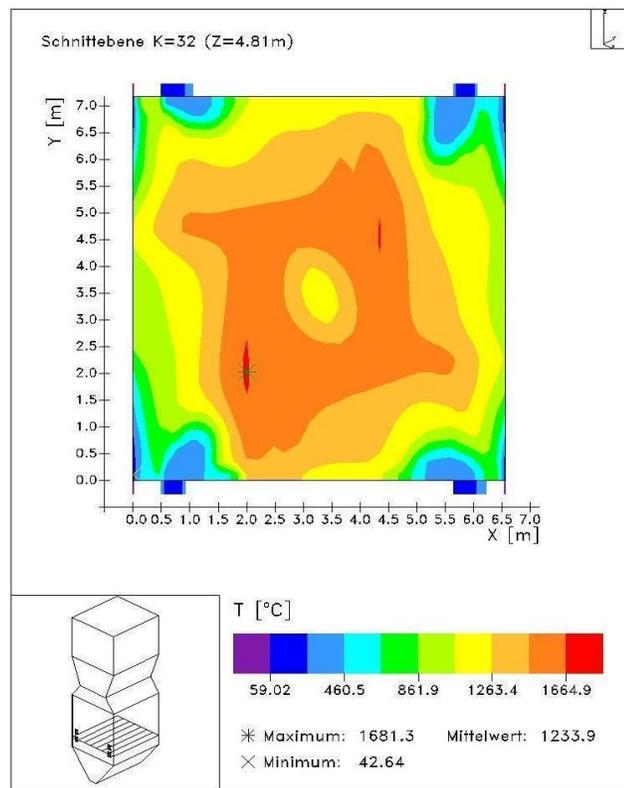
в) 6 плазменно-топливных систем

г) 12 плазменно-топливных систем

Рисунок 8 - Поле температуры в плоскости сечения горелок нижнего яруса топочной камеры котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС

- Можно заметить на рисунке 8, что по сравнению с использованием обычного пылеугольного потока среднее значение температуры в плоскости сечения горелок для котла ПК-39 с увеличением числа термохимически активированных потоков увеличивается и составляет:
- без активации – 1117 °С;
- четыре активированных потока - 1185 °С;
- 6 – 1211 °С;
- 12 – 1488 °С.

Рисунок 9 – Распределение температуры в области расположения горелочных устройств нижнего яруса топочной камеры котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3



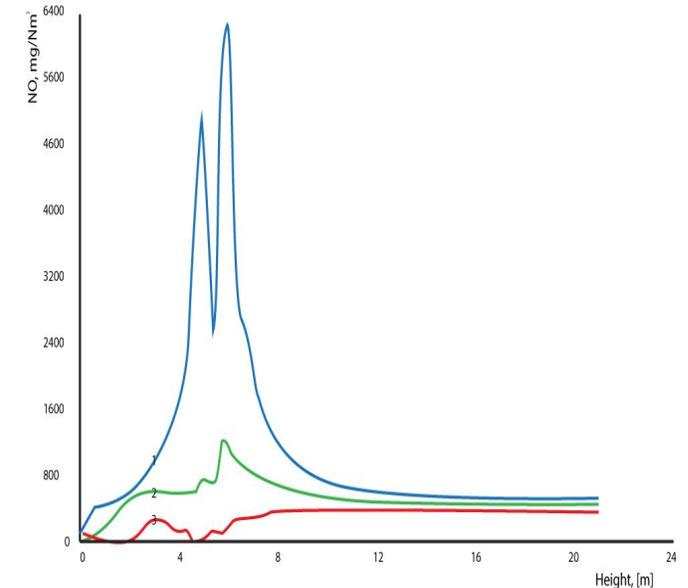
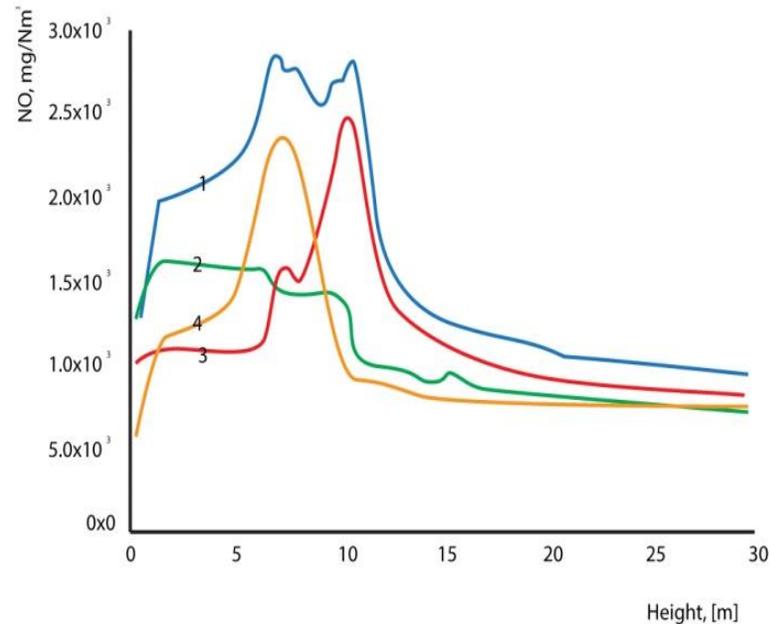
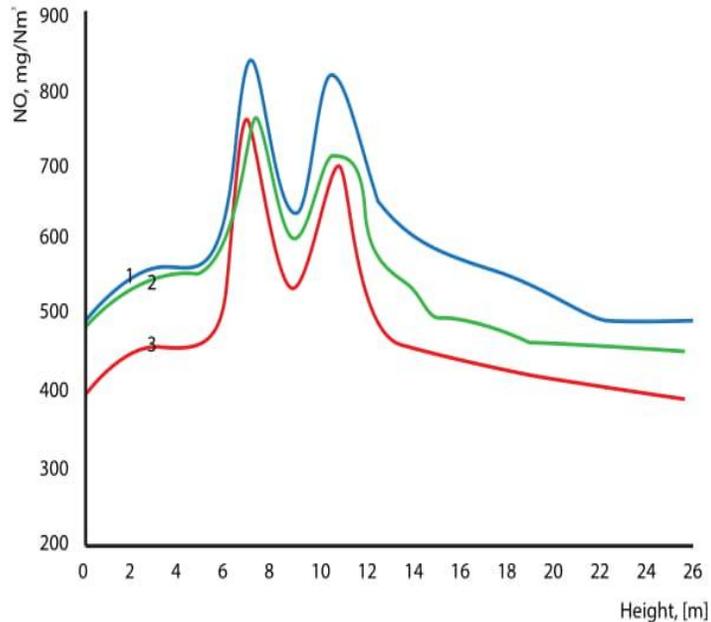
а) традиционное сжигание (без ПТС)

б) 2 плазменно-топливные системы

Рисунок 9 – Распределение температуры в области расположения горелочных устройств нижнего яруса топочной камеры котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3

- Анализ рисунка 9 для котла БКЗ-160 также показывает, что по сравнению с использованием обычного пылеугольного потока среднее значение температуры в плоскости сечения горелок с термохимически активированными потоками увеличивается и составляет: без активации – 1234°C , а при двух активированных потоках в области нижнего яруса горелок - 1272°C .
- На основании вышесказанного, можно сделать вывод о том, что для всех исследуемых котлов процесс плазменной активации горения аэросмеси приводит к увеличению температуры в области установки горелочных устройств. При этом с увеличением числа установленных плазменно-топливных систем наблюдается смещение фронта горения к месту расположения систем плазменной активации угольных потоков

Рисунок 10 – Распределение концентрации оксидов азота NO по высоте топочных камер котлов БКЗ-420, ПК-39, БКЗ-160



1 – традиционное сжигание топлива (без ПТС); 2 – 3 ПТС; 3 – 6 плазменно-топливных систем

а) котел БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2

1 – традиционное сжигание топлива (без ПТС); 2 – 4 ПТС; 3 – 6 ПТС; 4 – 12 ПТС

б) котел ПК-39 Аксуйской ГРЭС

1. максимальное; 2 – среднее;

3 – минимальное.

в) котел БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3 (2 плазменные горелки)

Рисунок 10 – Распределение концентрации оксидов азота NO по высоте топочных камер котлов БКЗ-420, ПК-39, БКЗ-160

- Мы видим, что использование плазменных горелок приводит к снижению суммарной концентрации NO из топочного пространства и составляет:
- для котла БКЗ-420 Алматинской ТЭЦ-2 – для обычного горения 507 mg/Nm^3 , для 3 и 6 термохимически активированных потоков 456 mg/Nm^3 и 407 mg/Nm^3 соответственно;
- для котла ПК-39 Аксуйской ГРЭС – для обычного горения 932 mg/Nm^3 , а для 4, 6 и 12 плазменно-активированных потоков 785 mg/Nm^3 , 725 mg/Nm^3 и 690 mg/Nm^3 соответственно;
- для котла БКЗ-160 Алматинской ТЭЦ-3 – при 2 плазменно-активированных потоках – $444,5 \text{ mg/Nm}^3$.
- Предельно допустимая концентрация (ПДК) для оксидов азота NO, принятая в РК к 2016 году, составляет 850 mg/Nm^3 . Таким образом, можно сделать вывод о том, что установка плазменно-топливных систем (ПТС) в топочных камерах энергетических котлов значительно улучшает экологические показатели ТЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проведенные исследования систем термохимической плазменной активации пылеугольных потоков показали возможность и эффективность их применения на реальных теплоэнергетических объектах.
- Перспективность исследований по использованию высокоэффективной экологически чистой плазмохимической технологии получения высокорекреационного топлива из казахстанских низкосортных твердых топлив состоит в том, что это позволит исключить из баланса ТЭС дорогостоящий и дефицитный мазут и природный газ, которые традиционно используются для растопки котлов и стабилизации горения пылеугольного факела.
- В результате реализации наших предложений по совершенствованию технологии сжигания низкосортного угля, предполагается снизить выбросы оксидов азота на 30-40%.
- По самым скромным оценкам снижение выбросов NOx на 1% обеспечивает экономический эффект 45 млн тенге в год для одной тепловой электростанции с установленной электрической мощностью 2.4ГВт.
- Внедрение результатов проекта в промышленность Казахстана позволит вовлечь на перспективу до 2020 года в топливно-энергетический баланс Республики около 40 млрд. тонн низкосортных углей, что обеспечит энергетическую безопасность страны.