

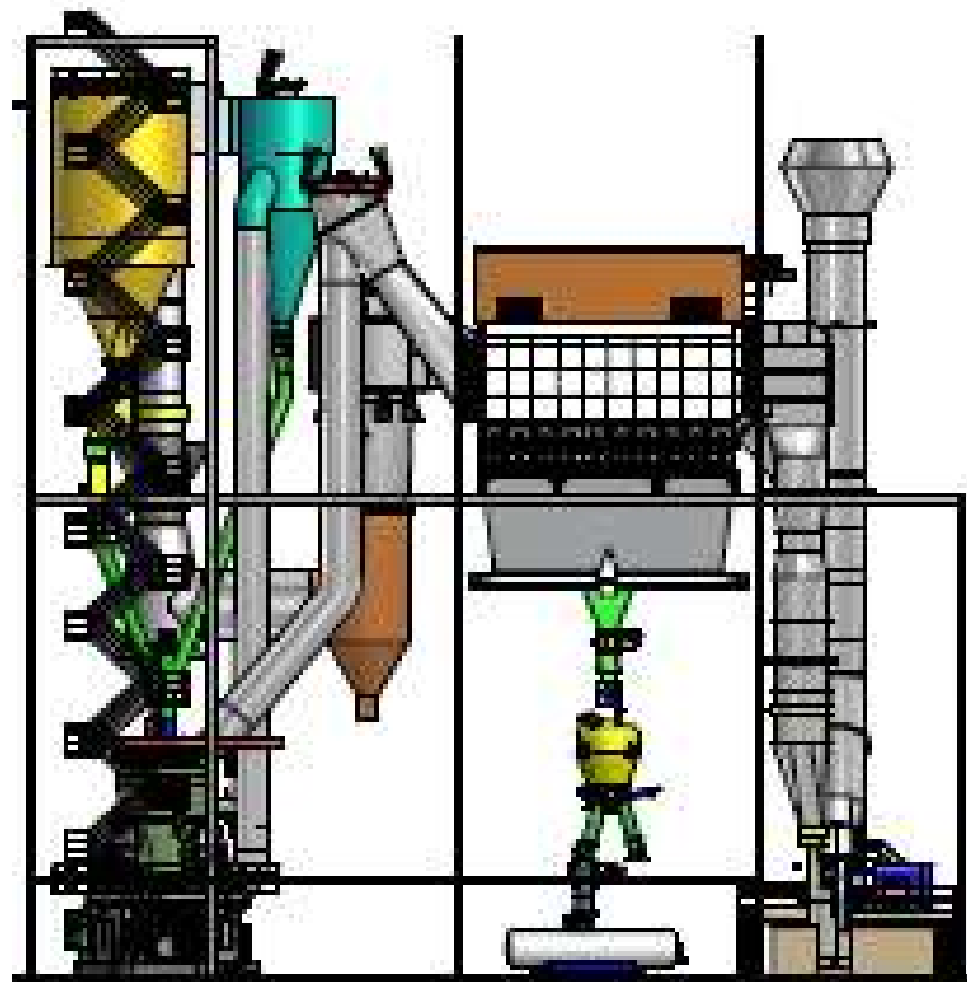
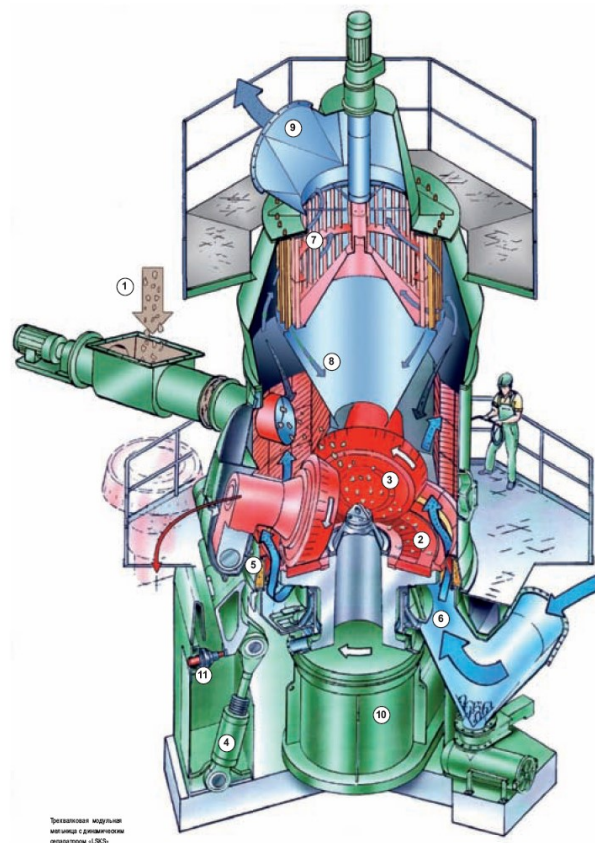
**Перевод печей спекания нефелинового шлама
с каменного угля на бурый уголь
Бородинского и Берёзовского месторождений**

Численное моделирование процесса спекания

Herr Mathias Suchumacher, AIXERGEE,
Herr A.Smirnov, Loesche GmbH,
Herr O.Gribkov, Loesche GmbH
Dr.-Ing. W. Garber, Ing.- Büro FTT

www.loesche.com

Установка для приготовления пылеугольного топлива



Печи спекания



Устройство печи в зоне спекания



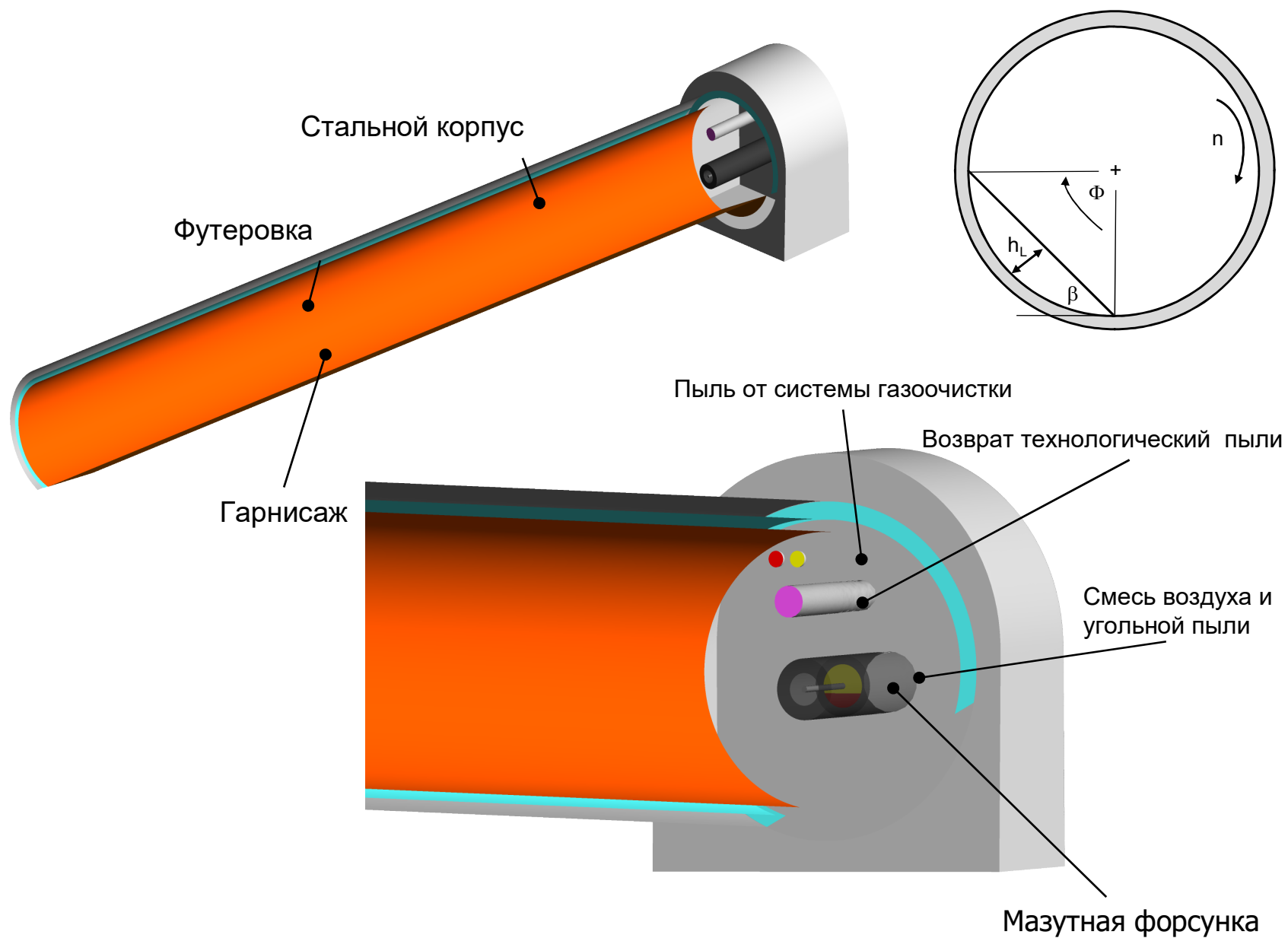
Горелочное устройство – труба для подвода пылевоздушной смеси



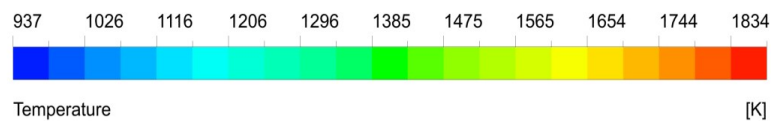
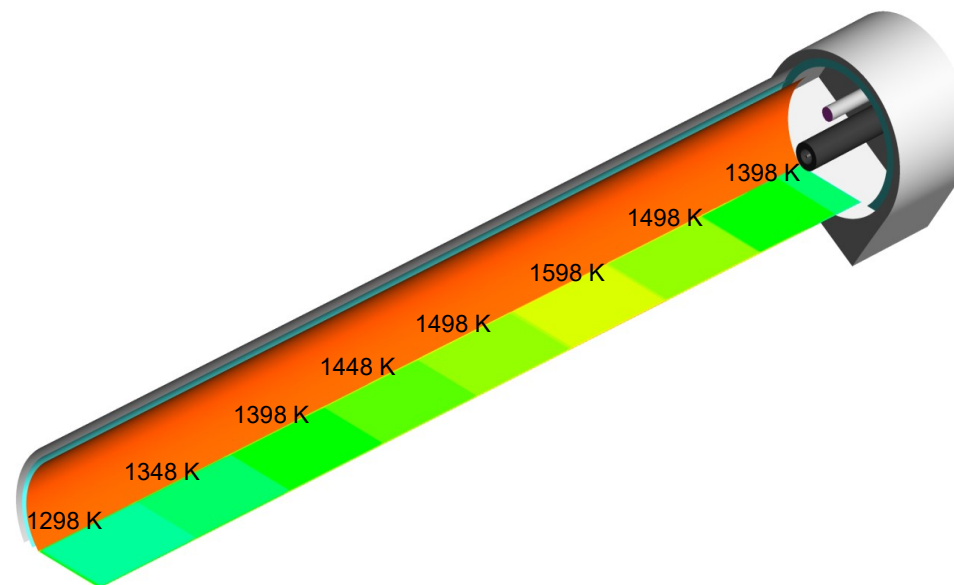
Новая горелка УниTERM



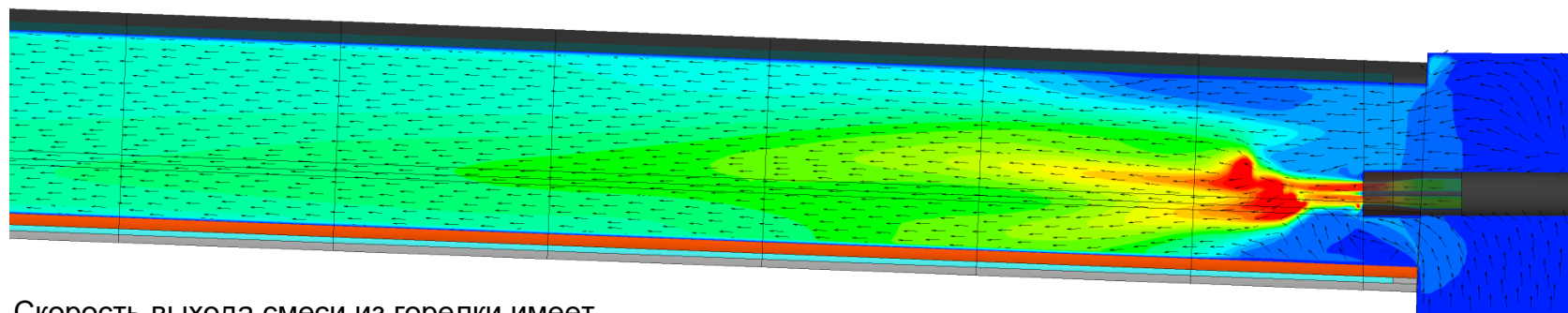
Построение модели процессов в зоне спекания печи



Температурный профиль зоны спекания клинкера



Базовый вариант: скорости в зоне спекания



Скорость выхода смеси из горелки имеет значения, около 50 м/с.

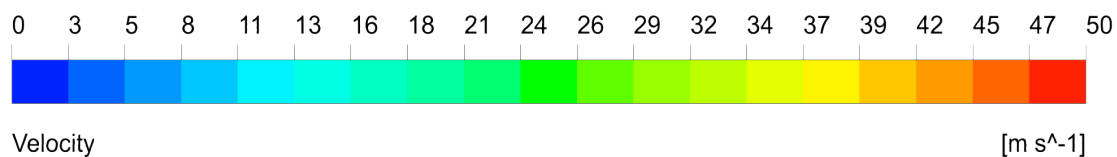
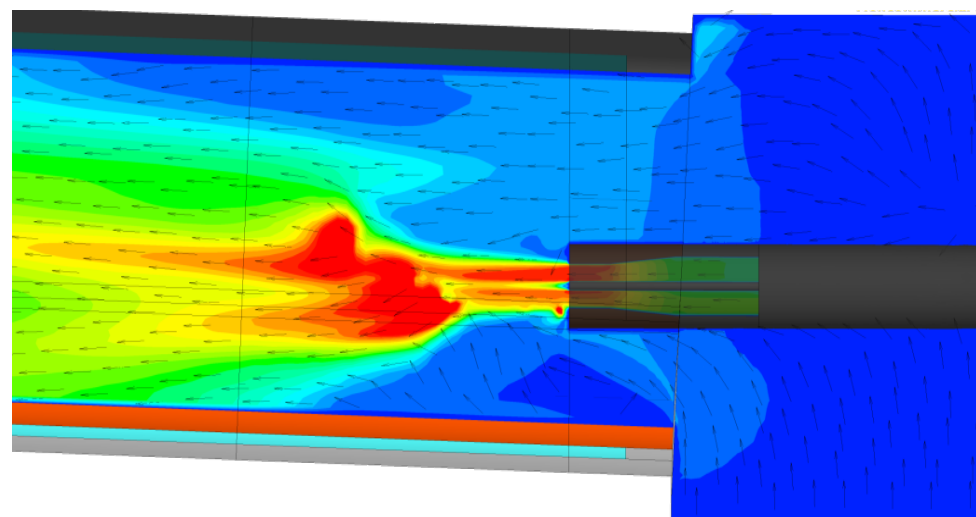
Расслоение потока в горелке:

- Первичный воздух в верхней части горелки выходит быстрее,
- нижней части концентрация угольной пыли выше.

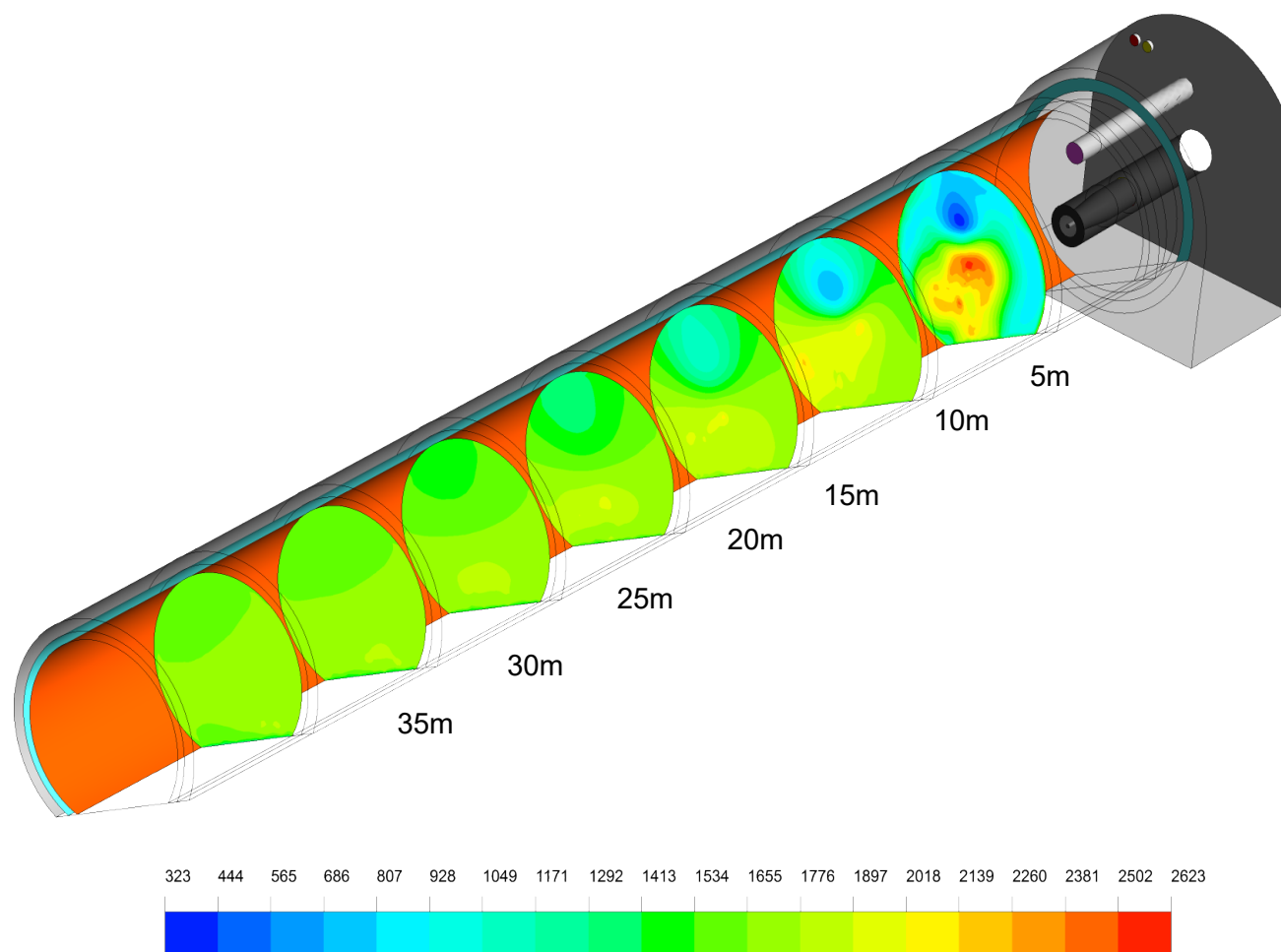
Под горелкой образуется рециркуляционная зона, типичная для вращающихся трубчатых печей.

На расстоянии ок. 3-5 м конца горелки возникает воспламенение пулевоздушной смеси.

Скорости из-за охлаждающего действия технической пыли над пламенем ниже, чем под пламенем.

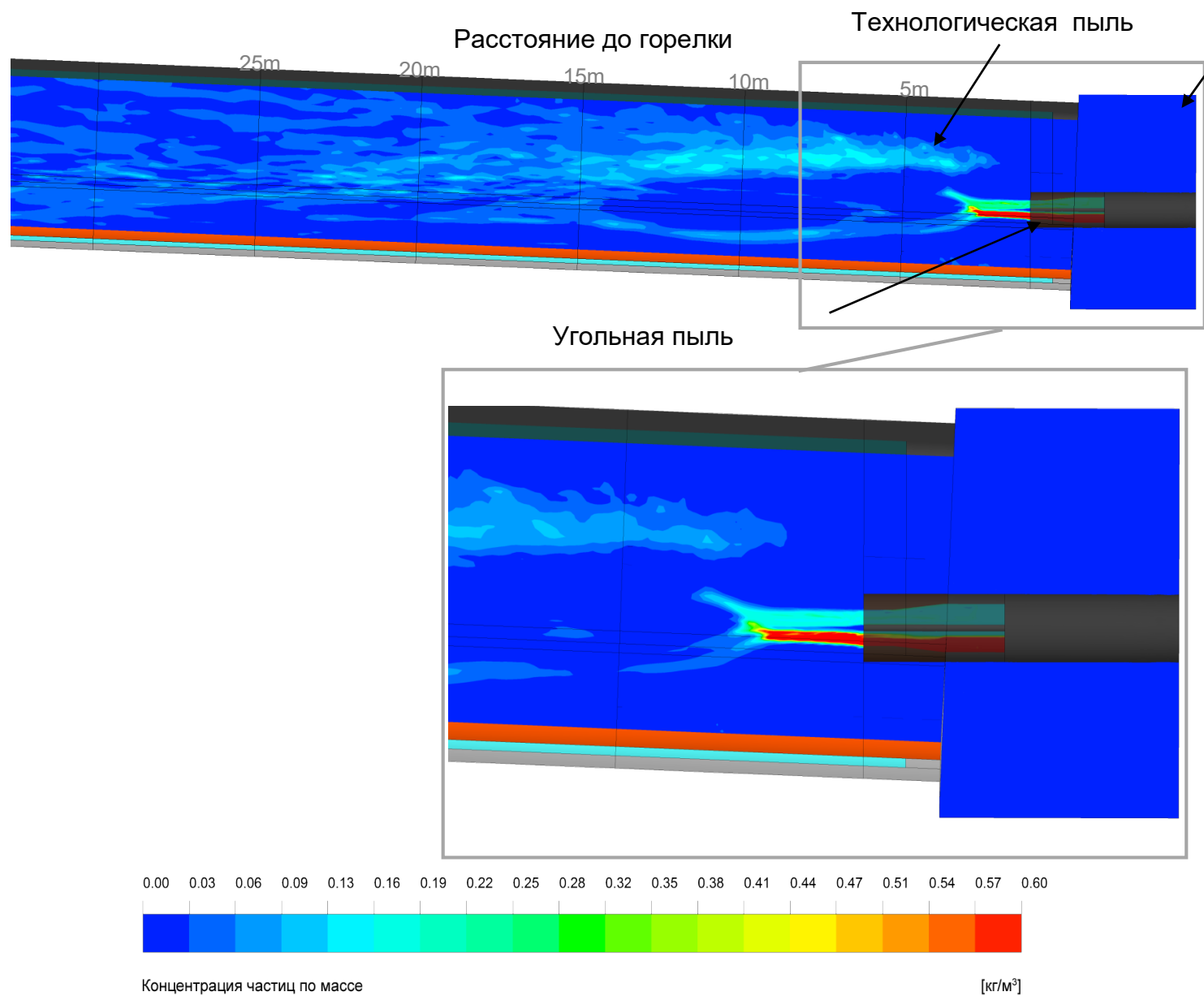


Температуры газов [K] – в различных сечениях печи



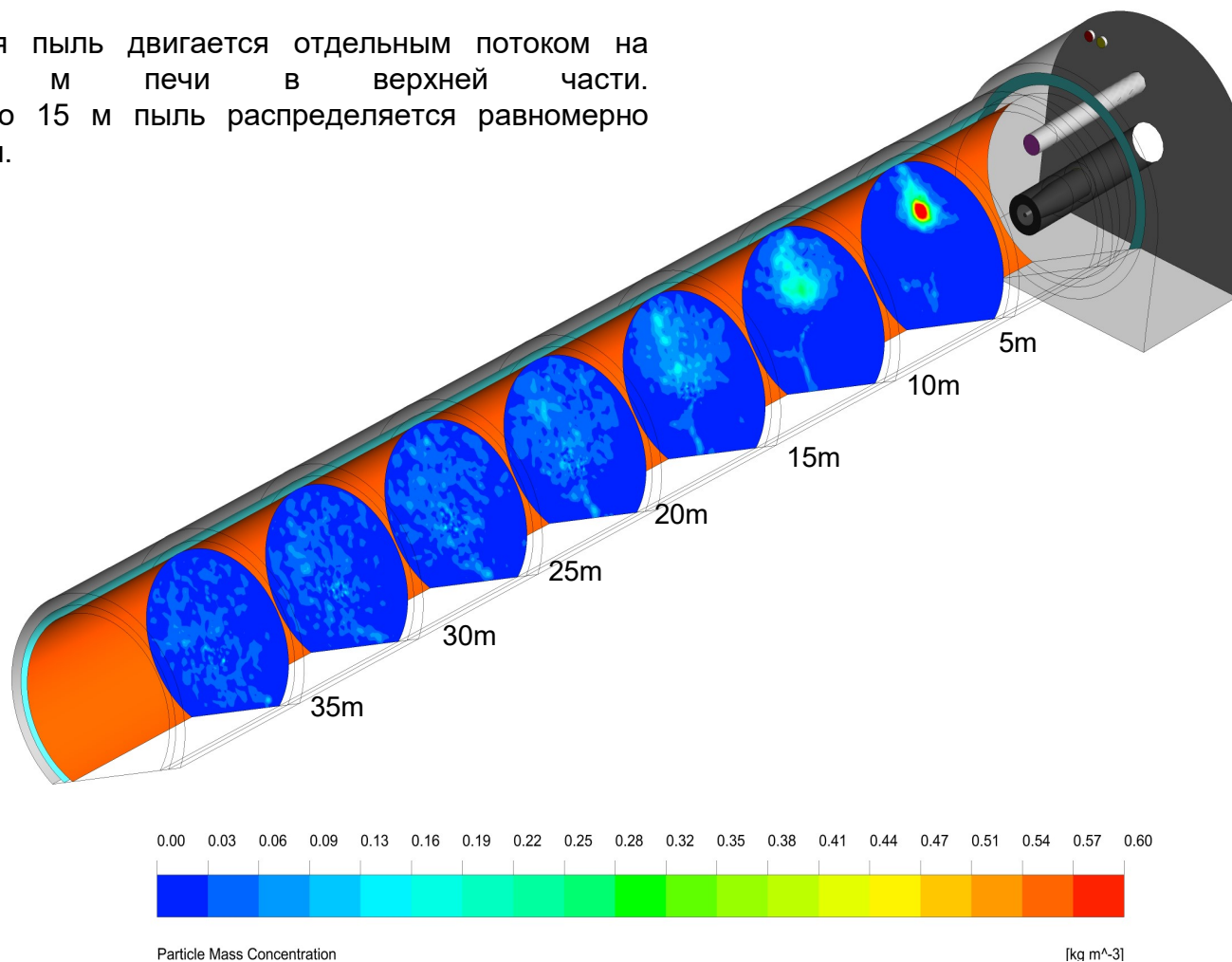
В верхней части печи хорошо виден холодный воздух, переносящий технологическую пыль. Под действием этих холодных потоков пламя опускается в направлении слоя спекаемого материала и прижимается к внешней стенке вращающейся печи.

Концентрация частиц [кг/м³] – в печи

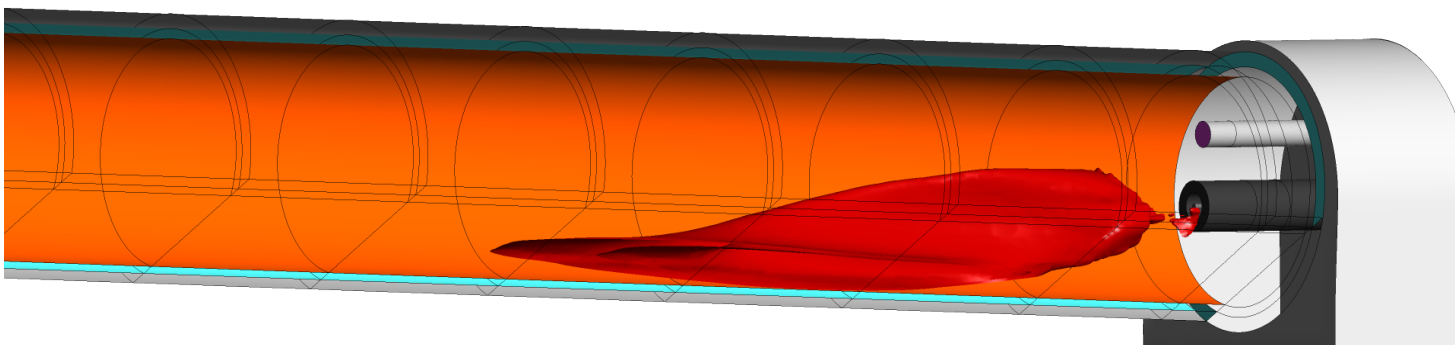


Концентрация частиц [кг/м³] – по сечениям вдоль печи

Технологическая пыль движется отдельным потоком на первых 10 м печи в верхней части. После примерно 15 м пыль распределяется равномерно по сечению печи.



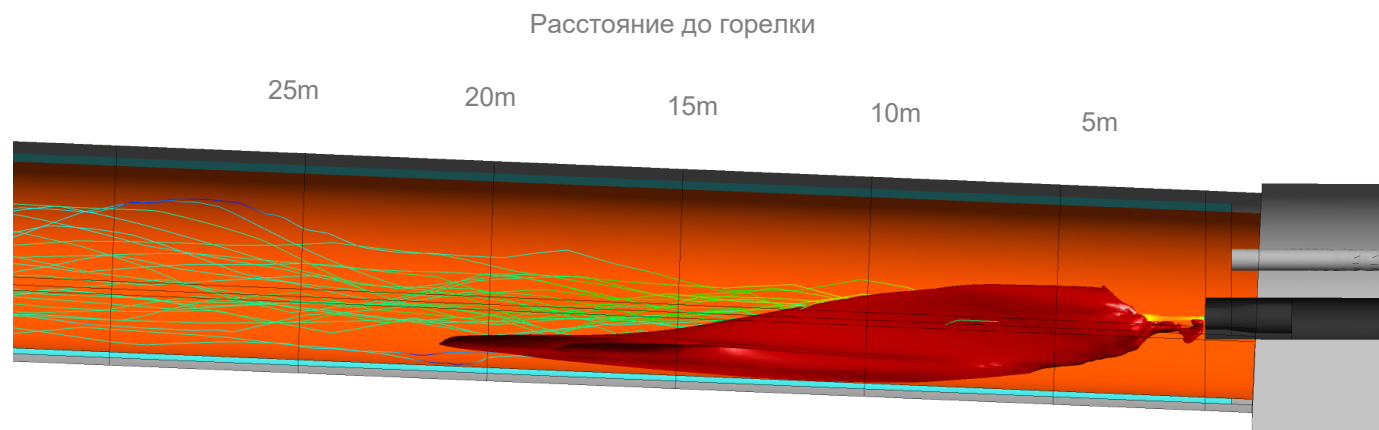
Контур видимого пламени



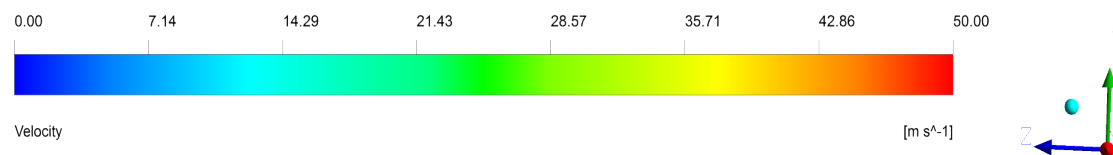
Видимое пламя, которое возникает при сгорании летучих веществ, выделяющихся из угля, ориентировано в направления слоя материала.

Видимое пламя нельзя отождествлять с областью высоких температур, так как невидимая сгораемая часть коксового остатка угля высвобождает большую часть термической энергии.

Пути движения частиц в зависимости от скорости

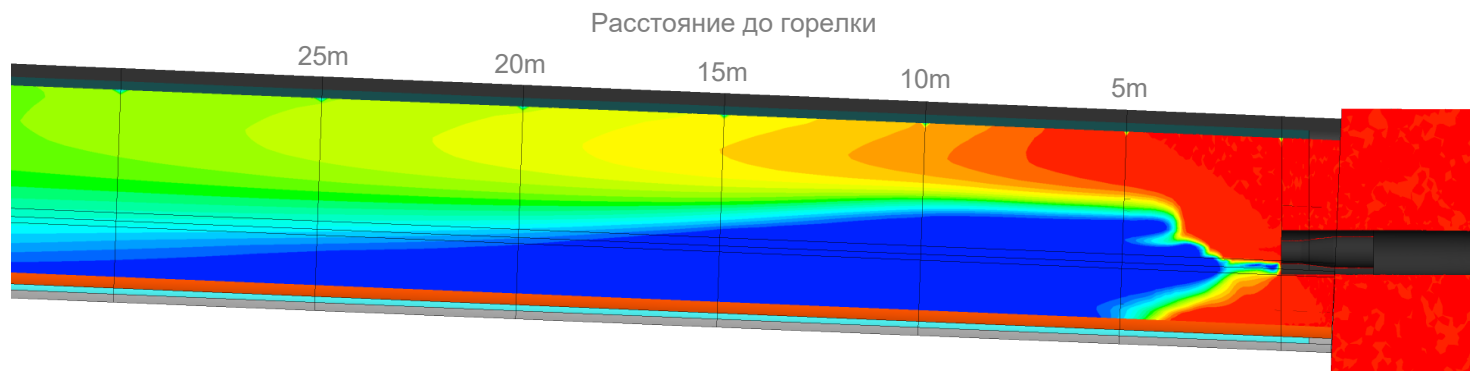


Тенденция, в соответствии с которой пламя опускается в направлении слоя материала, приводит к тому, что не полностью сгоревшие частицы топлива попадают в слой материала. Детальный анализ результатов численного моделирования путей движения частиц показывает, что около 1500 кг/час частиц каменного угля (включая золу) и около 600 кг/час бурого угля (включая золу) попадают в спекаемый материал в зоне спекания.

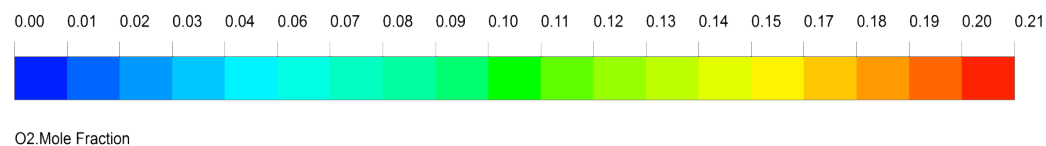


Окисляемая часть топлива, а также составляющие золы вступают в химическую реакцию со спёком. Из опыта производства цемента известно, что появление углерода и золы в спекаемом материале может привести к локальному ухудшению условий спекания и получению вследствие этого коричневого клинкера. Аналогичные процессы могут происходить при спекании нифелина.

Объемная доля O_2 [m^3/m^3] – в печи

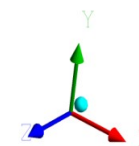
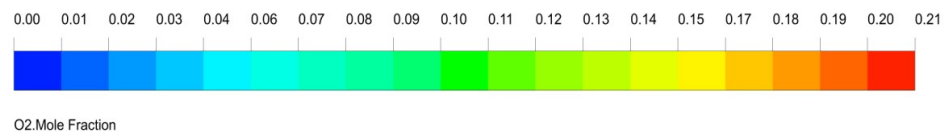
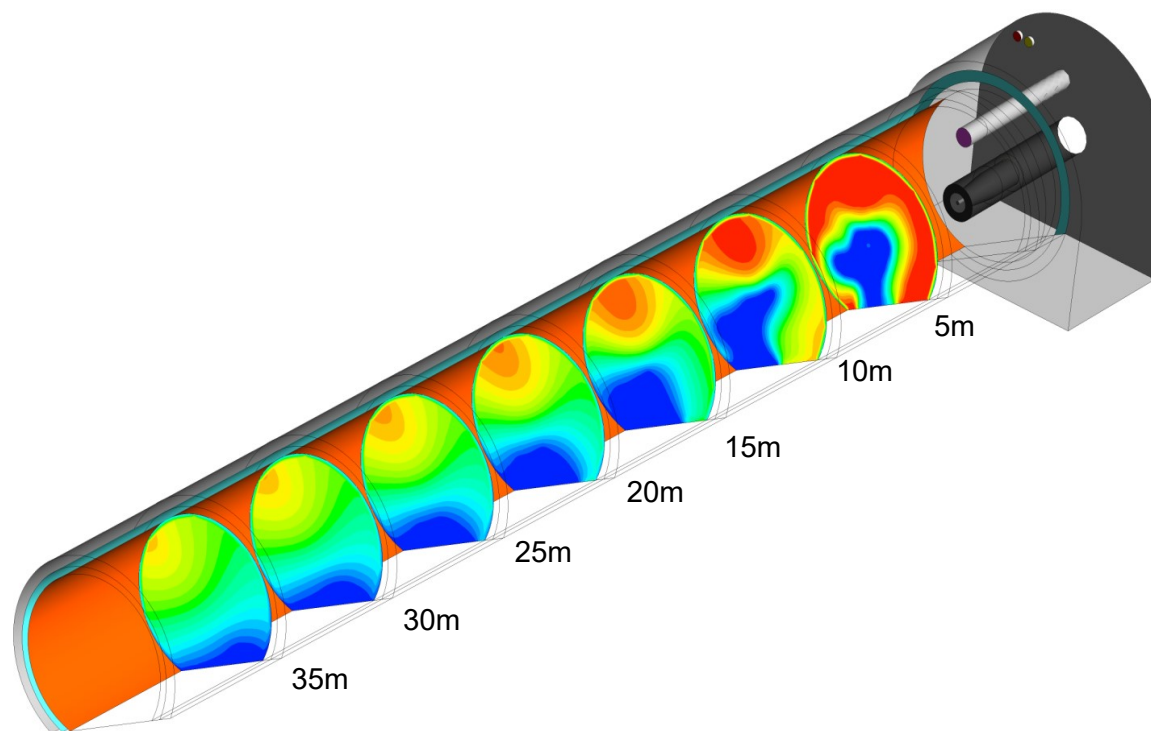


Сильная задержка при горении угля вызывается еще и плохим смешиванием с присутствующим кислородом. Поскольку с топливом реагирует только некоторая доля кислорода, неудивительно, что печь должна работать с избыточным количеством воздуха.

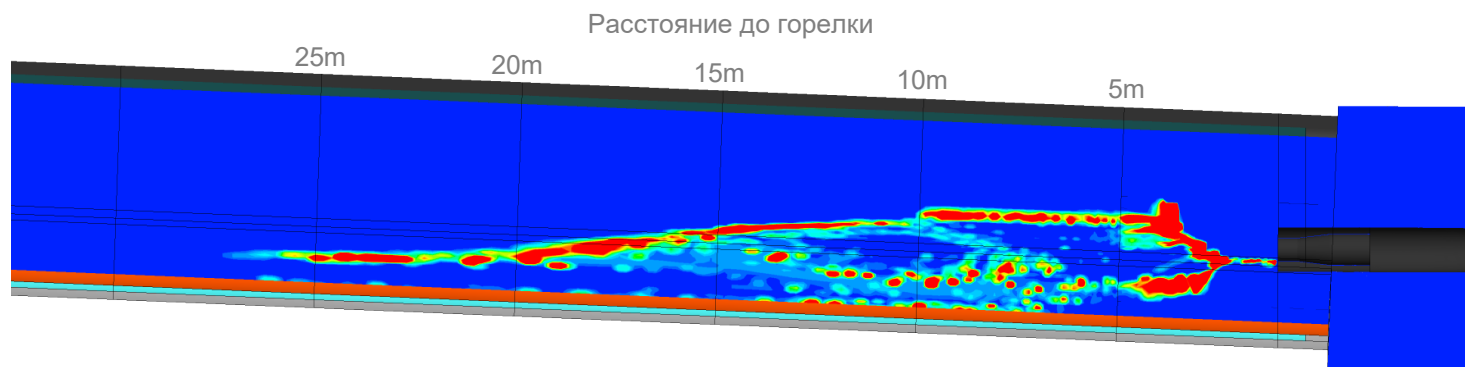


Для новой горелки воздуха потребуется меньше. Также за счет этого теряется эффект пониженных пиковых температур.

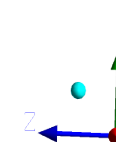
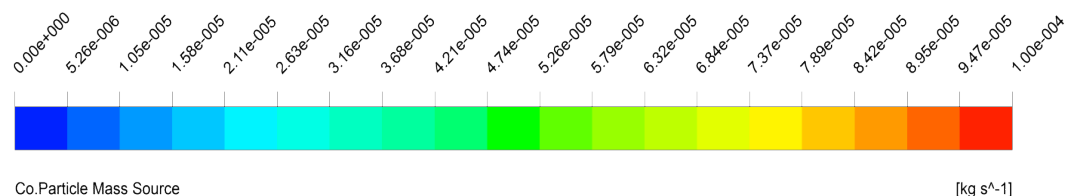
Объемная доля O_2 [m^3/m^3] – различных сечениях в печи



Качественная картина выгорания коксового остатка угля, полученная на основе данных по СО

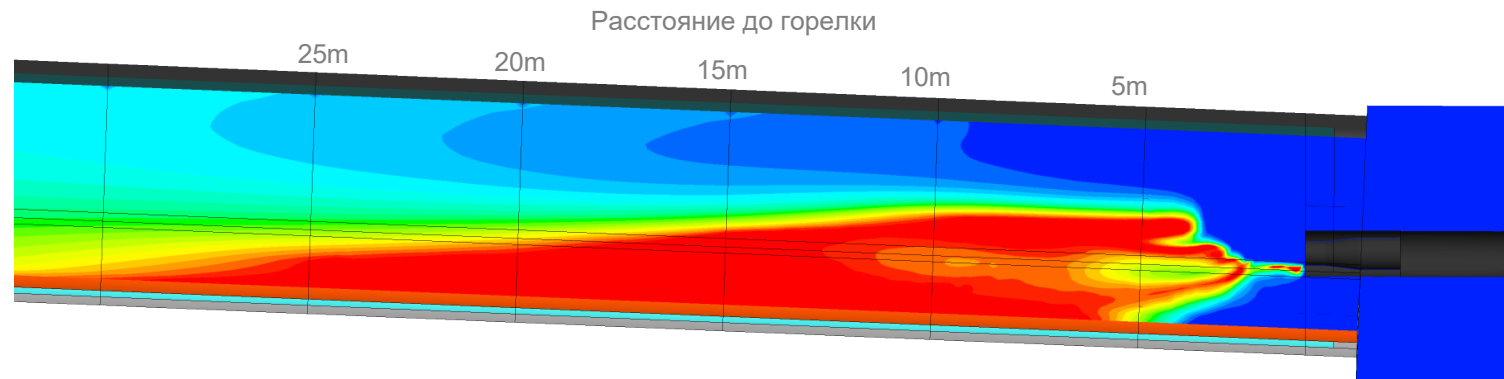


Доля образования СО показывает процесс гетерогенного окисления угля. Видно, что окисление топлива происходит вплотную над слоем материала и распространяется на всю зону спекания.

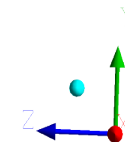
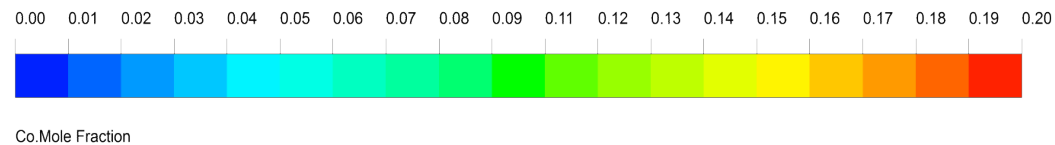


Такое протекание процесса выгорания необходимо учитывать при замене топлива и/или горелки, так как оно оказывает значительное влияние на температурный профиль. Слишком интенсивное сжигание угля (определённая настройка горелки) может привести к перегреву спека.

Объемная доля CO [m^3/m^3] – в печи

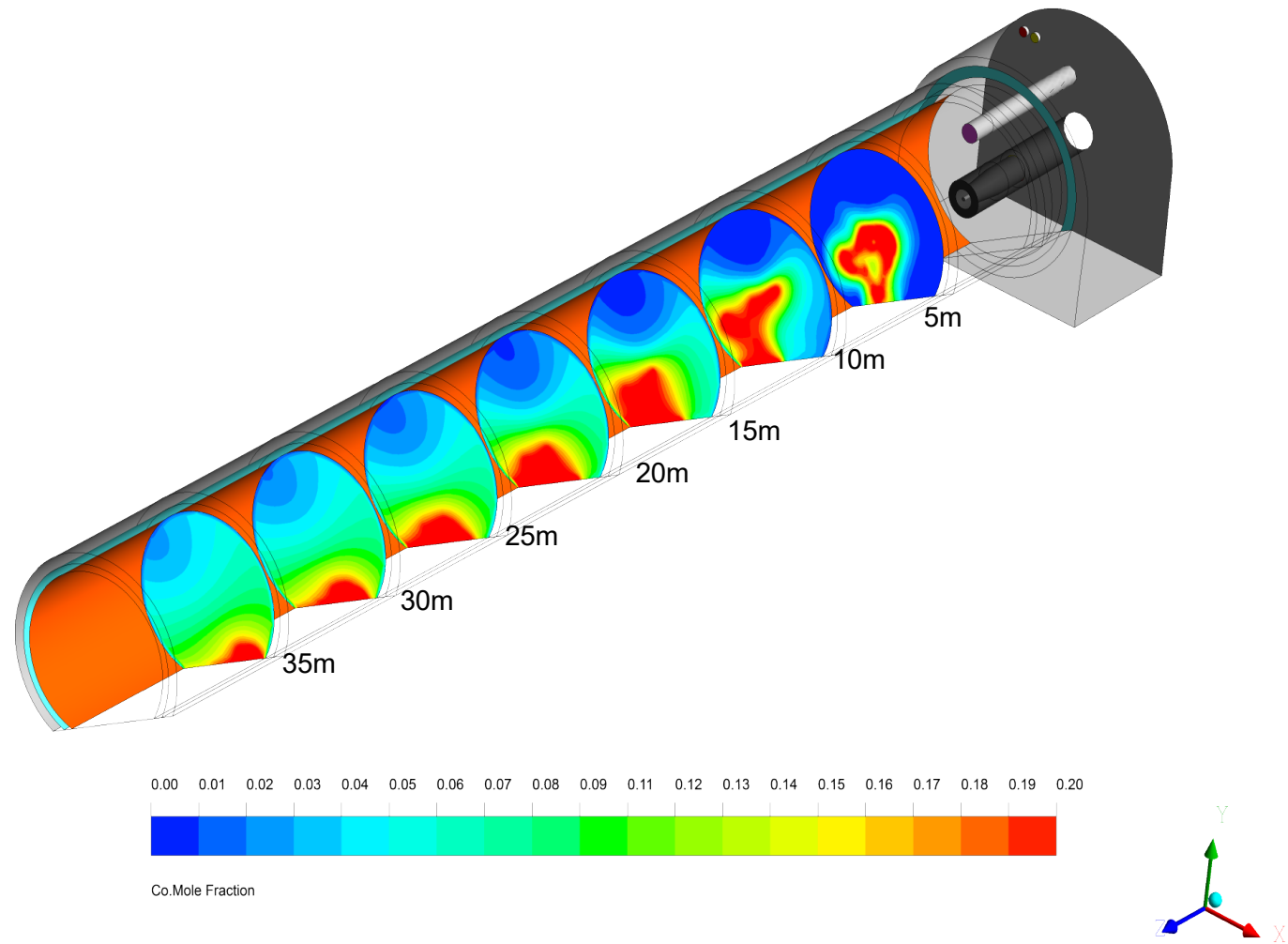


Наблюдается слой CO покрывающий слой спека. Топливо в зоне спекания не полностью окисляется и его теплотворная способность не полностью используется. По причине плохого перемешивания топлива и кислорода очень много тепла направляется в зону сушки и кальцинации печи.

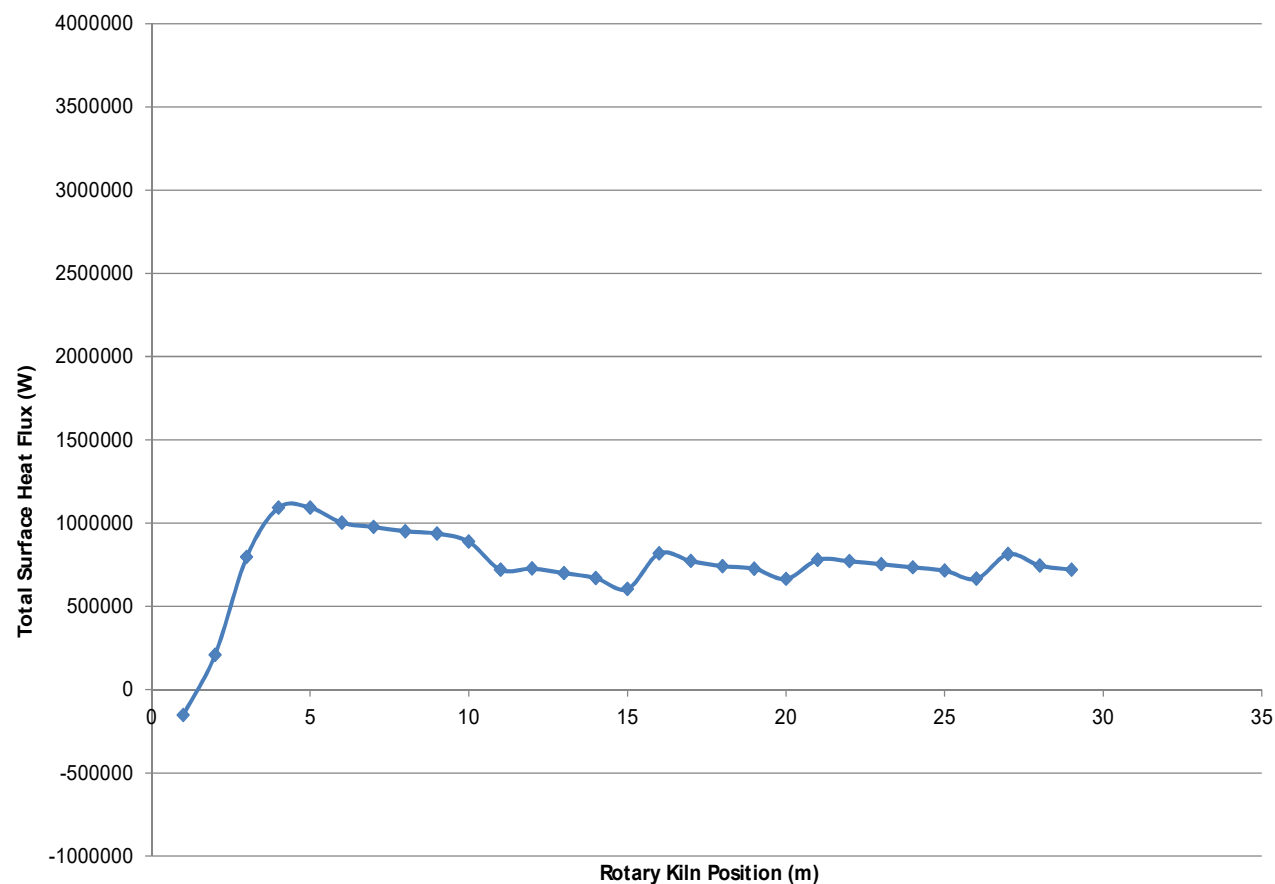


С точки зрения процесса это имеет большое значение, так как для обоих процессов требуется большое количество энергии. Из-за задержки выгорания меняется распределение тепла в печи.

Объемная доля CO [m^3/m^3] – в сечениях вдоль печи



Поток тепла, попадающего на поверхность спекаемого материала [Вт/м²], вдоль печи



Как уже предполагалось на основании ранее приведенных выкладок, тепловой профиль выдает пиковое значение вблизи горелки, затем уровень теплового потока к материалу снижается и с 10-го метра до 30 м сохраняется примерно одинаковым по длине печи. По сравнению с печами изготовления серого цемента, это необычное явление, и после замены горелки и угля его следует сохранить. Показанный здесь профиль является контрольным для оценки современных горелок, работающих на буром угле.

Выводы: режим работы печи

- Для базовой одноканальной горелки, которая применяется в настоящее время, характерно пламя большой протяженности с сильным снижением пиковых температур. В основном это обусловлено следующим:

WU1

- Расслоение потока воздуха и угольной пыли в угольном трубопроводе горелки обуславливает выход топлива плотным экранированным потоком, из-за чего разогрев топлива в печи замедляется.
 - Низкий осевой импульс в горелке не обеспечивает смешивания с вторичным воздухом и ведет к быстрому ухудшению условий смешения в струе угольной пыли.
 - Помимо этого, вдуваемая технологическая пыль принимает часть тепла от пламени и переносит его глубоко в печь. Это изменяет температуру в печи (делает более низкой температуру перед горелкой и более высокими температуры в зоне перехода).
 - Возникают протяженные, близкие к слою спека потоки СО, которые переносят в печь химически связанную энергию. Последующее окисление СО при прохождении газов вдоль печи освобождает эту энергию на большом расстоянии от горелки.
- Описанная особая форма пламени должна быть учтена при выборе новой современной горелки, так как в противном случае возникнет опасность перегрева зоны спекания.

О какой горелки Simplex написано? Такую в Ачинске не применяют.

Windows User; 13.08.2013

Сценарии будущего развития

Из различных исследований горелок и параметров была выбрана конфигурация, которая будет представлена далее. Она лучше всего соответствует текущему тепловому профилю. В основе конфигурации лежит использование горелки Unitherm M.A.S.

Факторы влияния на температурный профиль и профиль тепловой передачи в печи

В рамках исследования CFD рассматривались следующие факторы влияния:

- 1.Производитель
- 2.Гранулометрический состав топлива
- 3.Коэффициент избытка воздуха в печи
- 4.Количество топлива
- 5.Добавление каменного угля в бурый уголь
- 6.Степень закрутки горелки (Unitherm: угол наклона струи форсунок M.A.S.)
- 7.Добавление в топливо технологической пыли для охлаждения факела
- 8.Установка кожуха в форме трубы вокруг горелки. Технологическая пыль подается в печь через эту трубу, а не через рассеиватель, как раньше.
- 9.Цель – охлаждение факела и, таким образом, уменьшение теплового потока в зону спекания.

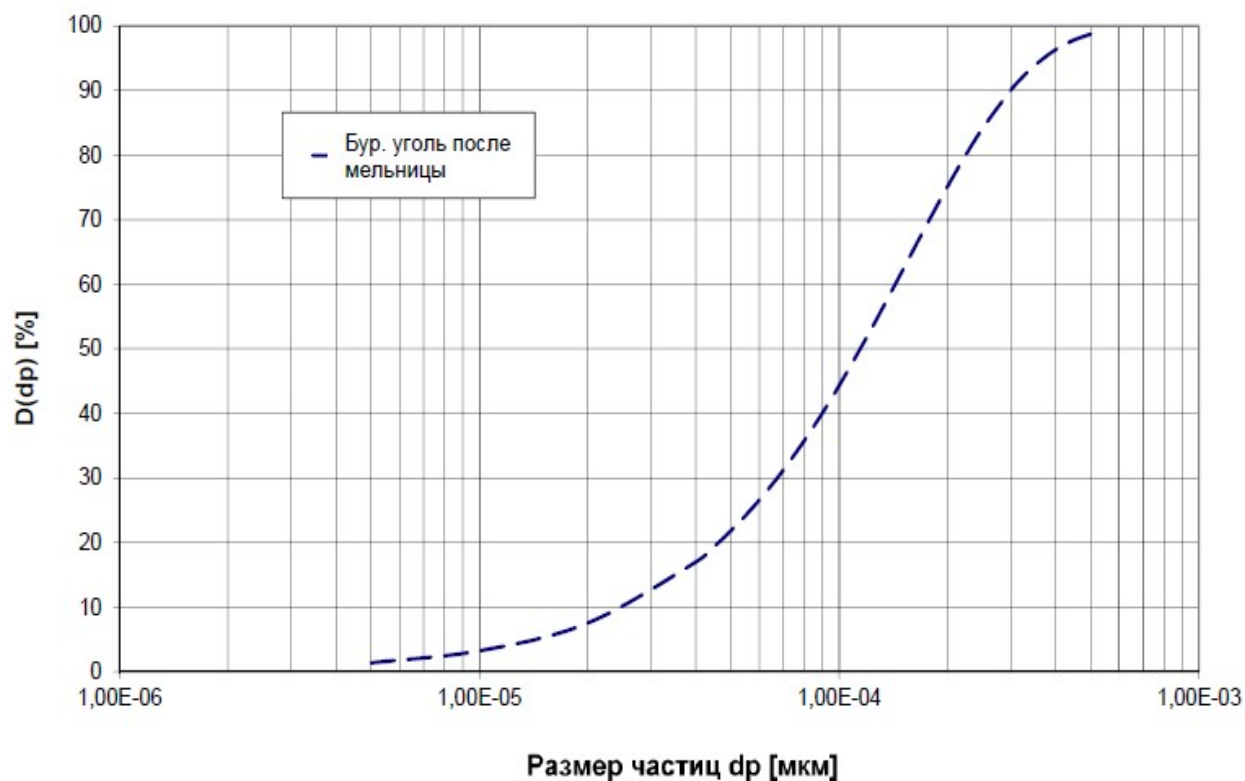
Вывод

Мы не смогли обнаружить существенные в отношении технологического процесса различия между горелками разных производителей. Горелки Unitherm были выбраны после обсуждения вопроса с заказчиком. Они были выбраны, т.к. на месте в эксплуатации находятся уже 8 5 печей, успешно оснащенных этими горелками.

В процессе исследования в формате CFD были выявлены важнейшие параметры регулирования теплового профиля. Ими оказались степень закрутки и гранулометрический состав.

Добавление технологической пыли, либо ее подача через кожух, как и предполагалось, снижают температуру и, таким образом, тепловой поток вблизи горелки. Однако на небольшом расстоянии происходит обратная реакция, т.к. в этом случае разогретые частицы технологической пыли интенсивнее передают тепло постели материала. Пыль тянет за собой тепло из корня факела и ухудшает профиль теплопередачи в остальной части зоны спекания.

Гранулометрический состав бурого угля, планируемого к использованию



Длинное пламя в исходном состоянии учитывается таким образом, что в горелку подается уголь с более грубым гранулометрическим составом. Основное правило гласит: „Доля частиц с тониной более 90 μm равна половине содержания летучих веществ топлива “. В данном случае это соответствует 20%. При моделировании рассматривалась тонина 90 μm с остатком на сите 30%. Дополнительно рассматривалась также большая доля мелких фракций, которые отвечают за необходимое воспламенение. В связи с тем, что в отношении вращающихся печей сложно говорить об определенности используемых краевых условий, то это значение на практике не всегда соответствует оптимальному. Однако существует ориентировочное значение гранулометрического состава, к которому нужно стремиться на практике.

Термохимические свойства бурого угля, планируемого к использованию

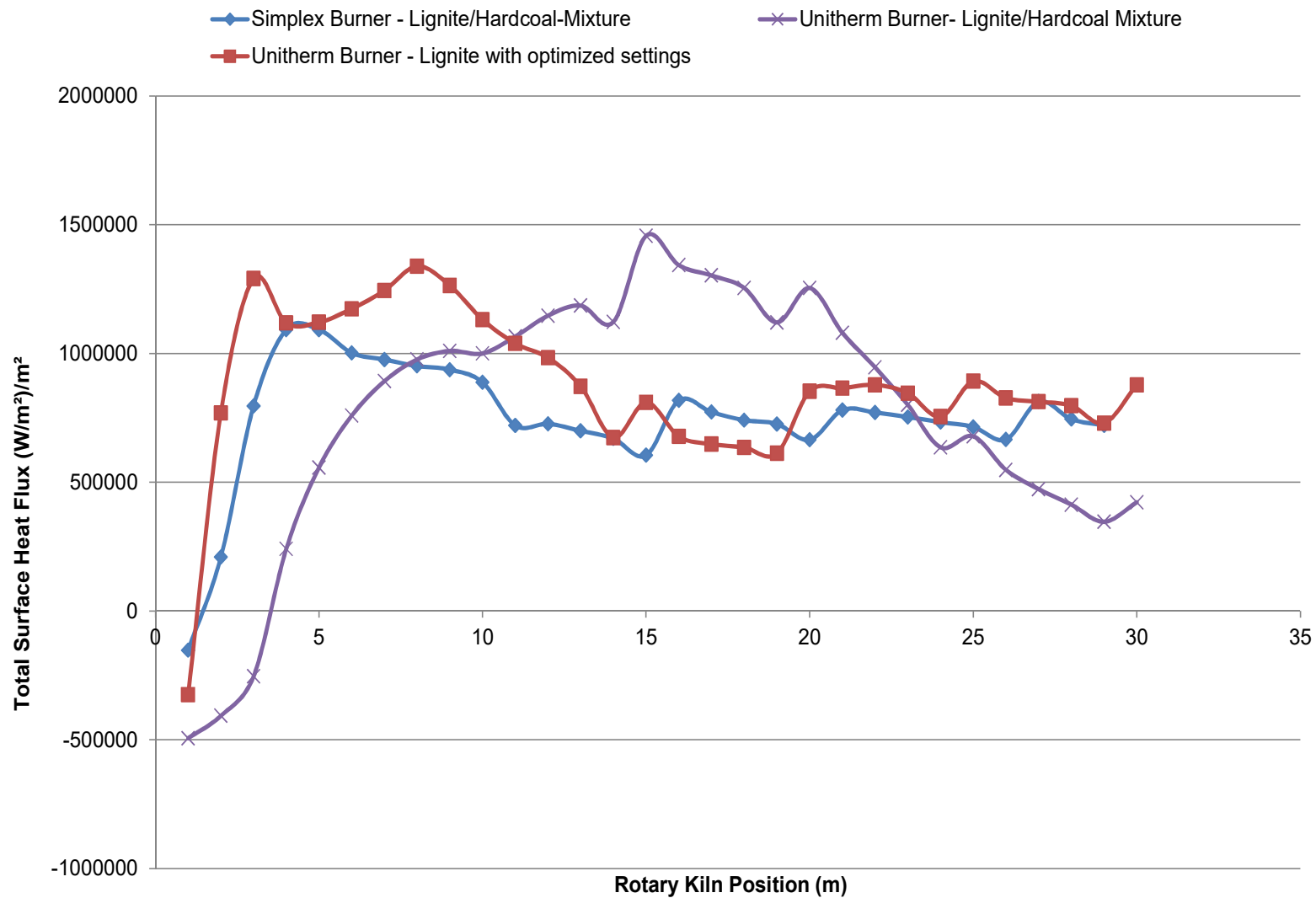
Б у р ы й у г о л ь

К р а т к и й а н а л и з (п р и с ж и г а н и и)		Э л е м е н т а р н ы й а н а л и з (DAF)	
В л а ж н о с т ь	1 %	C _{waf}	74,75 %
Л е т у ч и е с о е д и н е н и я	41,3 %	H _{waf}	4,89 %
З о л а	7,8 %	N _{waf}	0,97 %
		S _{waf}	0,21 %
H _u		20100 kJ/kg	

Химический анализ по запросу заказчика был проведен в RAG.

Используемые в модели данные соответствуют усреднению переданной пробы, данные по теплотворной способности предоставлены оператором установки

Тепловой поток над поверхностью **спека** [Вт/м²] вдоль печи – сравнение будущих сценариев



Оценка будущих сценариев

- Помимо стандартной ситуации и будущих сценариев для сравнения был смоделирован еще один сценарий. Первый сценарий (фиолетовая кривая) представляет состояние 8 5 печей, которые уже оснащены горелками Unitherm, но в которых до сих пор используется старая угольная смесь. Этот сценарий показывает, что изменения не влияют на качество продуктов. Таким образом, будущий тепловой профиль, который образуется благодаря замене старой горелки на современную и будущей замене используемого топлива, должен находиться в рамках предыдущего теплового профиля. В этом случае будет обеспечено необходимое качество спека. Фиолетовая кривая показывает, что точное соответствие тепловому профилю не нужно.
- Различные расчеты в рамках исследований CFD показали, что можно сделать вывод, что при переходе на другой вид топлива профиль транспорта тепла изменится гораздо больше, чем при замене горелки. Важную роль в этом случае играет лучшая воспламеняемость за счет большего количества летучих компонентов в буром угле. Это отличие еще более усиливается при использовании винтовой горелки.
- Были исследованы параметры, влияющие на тепловой профиль. Оказалось, что самыми эффективными параметрами в этой печи является гранулометрический состав топлива и скорость горелки.
- Кроме того, бурый уголь перемалывается грубее, чем принято при подаче на горелку для бурого угля при производстве серого цемента. Это задерживает воспламенение топлива и, таким образом, сглаживает тепловой профиль.
- Кроме того, предусматривается меньшая скорость горелки, чем при производстве серого цемента, чтобы приблизиться к предыдущей осевой характеристике пламени.
- В связи с тем, что в отношении вращающихся печей сложно говорить об определенности используемых краевых условий, то эти значения на практике не всегда соответствуют оптимальным. Однако они показывают возможность перехода и предлагают ориентировочные значения для практического применения. Точная настройка горелки должна производиться после ввода в эксплуатацию.
- Существует возможность сократить длительность ввода в эксплуатацию. Это возможно при помощи приведенных здесь выводов и воздействию представленных факторов влияния. Для этого могут быть использованы зависимости, выявленные при вариативных расчетах, которые приведены в следующей таблице:

Факторы влияния на температурный профиль и профиль теплопередачи в печи

Фактор влияния	Изменение фактора влияния	Температура корня факела	Тепловой поток 0-15 м	Температура в зоне спекания	Тепловой поток 15-30
Тонина топлива	↑	↓	↓	↑	↑
Влажность топлива	↑	↓	↓	↓	↓
t головки печи	↓	↓	↓	↓	↓
Коеф. избытка возд. (втор. возд)	↑	↓	↓	↓	↓
Удельный вес топлива	↓	○	○	↓	↓
Удельный вес каменного угля	↑	↓	↓	↑	↑
Степень закрутки горелки	↑	↑	↑	↓	↓
Удельный вес первич.воздуха	↑	↑	↑	↓	↓
Техническая пыль в факеле	↑	↓	↓	↓	↑
Техническая пыль в кожухе	↑	↓	↓	↓	↑



Значительные изменения



Незначительные изменения



Предполагаемые изменения
(не проверялось при моделировании)



Изменения отсутствуют