

*Г. В. Воронов, М. В. Антропов, О. В. Порох,
И. В. Глухов, Л. А. Валишев*
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ДСП СОВРЕМЕННОЙ ДСП

Современная дуговая сталеплавильная печь отличается от классической выплавкой качественного полупродукта стали при использовании различных видов энергоносителей. По тепловой работе такую печь следует рассматривать как комплексный объект, в котором используют электрическую энергию, газообразное топливо и окислитель. Включение горелочных устройств и фурм в работу печи связано с необходимостью комплексно интенсифицировать процессы плавки, повысить энергоэффективность и производительность агрегата. Топливные горелки и фурмы существенно влияют на газодинамику рабочего пространства ДСП, определяют условия и эффективность теплообмена с шихтой.

Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, энергоноситель, горелочные устройства, интенсификация, горелка, фурма, газ, модель, скорость, поле, траектория.

Modern electric arc furnace is different from the classical one by smelting qualitative intermediate steel using different types of energy resources. By such thermal operation of furnace it should be regarded as a complex object in which electrical energy, the gaseous fuel and oxidant are used. The inclusion of burners and tuyeres in furnace operation connected with the necessity to intensify comprehensively the processes of melting, increase energy efficiency and productivity of the unit. Fuel burner and tuyeres significantly affect to the gas dynamics workspace of EAF, determine the conditions and the efficiency of heat exchange with the charge.

Keywords: electric arc furnace, energy source, burners, intensification, burner, tuyere, gas, model, speed, field, trajectory.

В данной работе предложен метод исследования аэродинамического состояния в рабочем пространстве ДСП с применением средств компьютерного моделирования и инженерного анализа.

Из соображений сложности решаемой задачи исследование ограничивается периодом нагрева твердой шихты до формирования жидкой ванны. В рассматриваемый период плавки, преобладает конвективная передача тепла шихте, поэтому изучение газодинамики внутреннего пространства печи приобретает практическую значимость.

Работа осуществлялась поэтапно и состояла из двух частей:

- работа с эскизами печи и получение 3D-моделей, отличающихся расположением горелок;
- расчет газодинамики внутреннего пространства, представление результатов расчета в графическом виде и их интерпритация.

Первому этапу работы соответствует создание твердотельной модели печи в пакете КОМПАС 3D. Модель печи создавалась как набор деталей, соответствующих элементам конструкции печи. Несмотря на некоторое конструктивное упрощение, геометрия деталей воспроизводит реальный объект с точностью достаточной для решения поставленной инженерной задачи.

Для обеспечения возможности обмена данными твердотельная модель создавалась с учетом стандартов расчетной среды SolidWorks, а именно:

- модель упрощена, мелкие элементы, которые не влияют на решение задачи, не показаны;
- удалены сквозные отверстия, входные и выходные отверстия снабжены крышками;
- определен способ соединения и соблюдены основные присоединительные размеры деталей сборки.

Подготовительные действия выполнялись на стадии подготовки деталей сборки в пакете КОМПАС 3D. Перенос графики осуществлялся по детально, а необходимые соединения и привязки производились средствами SolidWorks (рис. 1). Наиболее удовлетворительные результаты обмена информацией получилась между системами КОМПАС 3D и SolidWorks при использовании формата STEP.

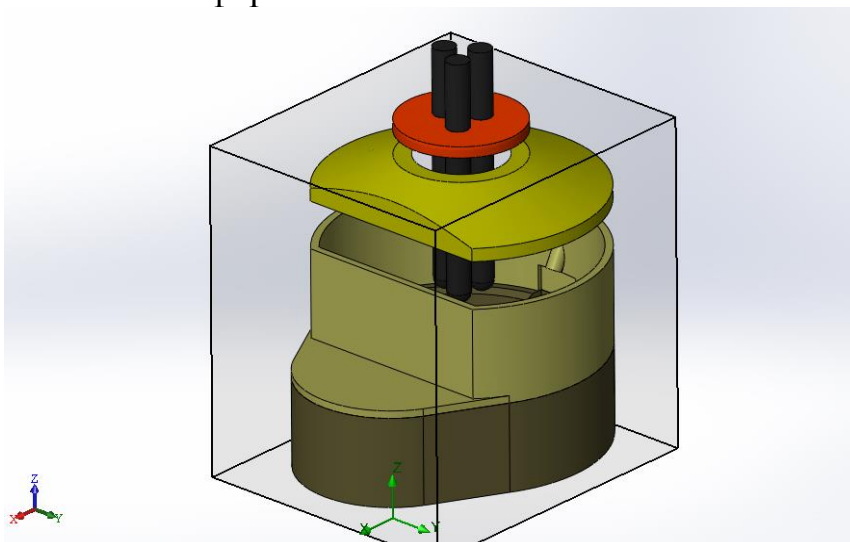


Рис. 1. Сборка модели печи в редакторе SolidWorks

Чтобы сделать решение задачи в программе Flow Simulation возможным, изначально сформулировали и приняли следующие условия:

1. Для исследования аэродинамики рабочего пространства печи пренебрегаем наличием жидкой фазы расплава, условно заменив ее твердой поверхностью.

2. Процесс горения считаем законченным, а компоненты газовой среды – не вступающими в химическое взаимодействие между собой.

3. Решаемую задачу считаем стационарной, полагая, что отсутствуют подвижные элементы; геометрия объекта в процессе расчета остается неизменной.

В расчете учли процессы: Heat conduction in solids (теплопроводность в твердых телах), gravity (гравитация), Time dependent (не стационарность).

На следующем шаге определили газообразные вещества, которые рассмотрены в данном проекте. В списке Gases (газы) выбирали methane (метан) и oxygen (кислород). Здесь же указали тип течения laminar and turbulent (ламинарный и турбулентный).

Далее задали wall conditions (условия на стенках). По умолчанию для всех поверхностей поставили значение adiabatic wall (адиабатическая стенка).

Следуя инструкциям мастера проекта, перешли к определению расчетной сетки. В данной задаче для качественного отображения результатов расчета оставили автоматически выставленные параметры сетки без изменения. Уменьшение шага расчетной сетки нецелесообразно, так как для решения понадобилось бы больше времени и вычислительных ресурсов.

При решении внутренних задач, когда расчетная область очерчена стенками модели, задали входные (Inlet) и выходные (Outlet) граничные условия текучей среды.

В качестве поверхности, где применено граничное условие, показываем торцевые грани горелок.

В параметрах потока указали значение начальной скорости на срезе сопла горелки $\bar{w}_{cm} = 175,8 \text{ м/с}$, температуру $t_{гор} = 2700 \text{ }^\circ\text{C}$, давление $P = 101325 \text{ Па}$. Также указали, что в рабочее пространство поступает газокислородная смесь содержащая 13,52 % CH₄ и 86,48% O₂. В дереве анализа модели добавили граничное условие Total Pressure (полное давление).

Выделили на поверхности свода отверстие, соответствующее газоотводящему каналу. На выходе в газоотводящий канал указали давление $P = 101275 \text{ Па}$ (разрежение $P = -50 \text{ Па}$) и приняли температуру уходящих газов $t_{y.g.} = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Результаты расчета Flow Simulation позволили наблюдать за траекториями движения текучей среды по линиям тока. Воспользуемся этим инструментом для исследования аэродинамики рабочего пространства ДСП. Результат можно видеть на рис. 2.

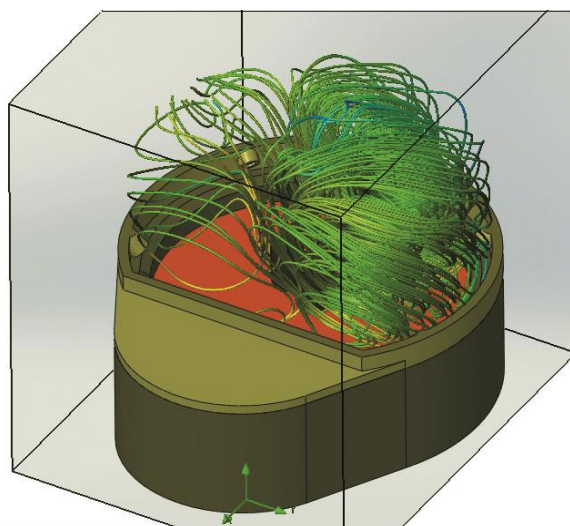


Рис. 2. Траектории движения газовых потоков в объеме рабочего пространства по варианту «Danieli»

Полученная картина подтверждает гипотезу о неэффективном размещении горелочных устройств фирмой «Danieli». Заметно интенсивное движение газов в зоне сосредоточения горелок и практически его полное отсутствие в смежной области.

При помощи команды Cut Plot (картина в сечении) получили поле скорости по выбранному сечению. Программа показала распределение параметра в виде градиентных полей. На рис. 3 и 4 изображено поле скорости в некоторых сечениях.

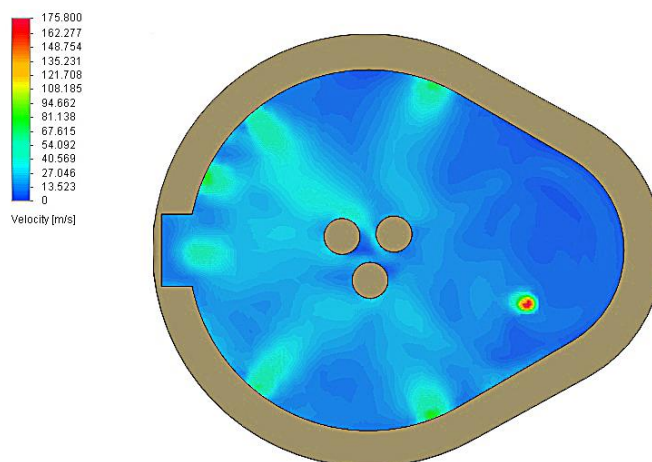


Рис. 3. Распределение поля скоростей в горизонтальном сечении на уровне горелок для варианта «Danieli»

Горизонтальный разрез демонстрирует ограниченность зоны действия горелок. В периферийной части рабочего пространства и эркерной зоне движение газов практически отсутствует. Потоки устремлены к центру печи, где сталкиваются, продолжая двигаться вверх вдоль поверхности электродов.

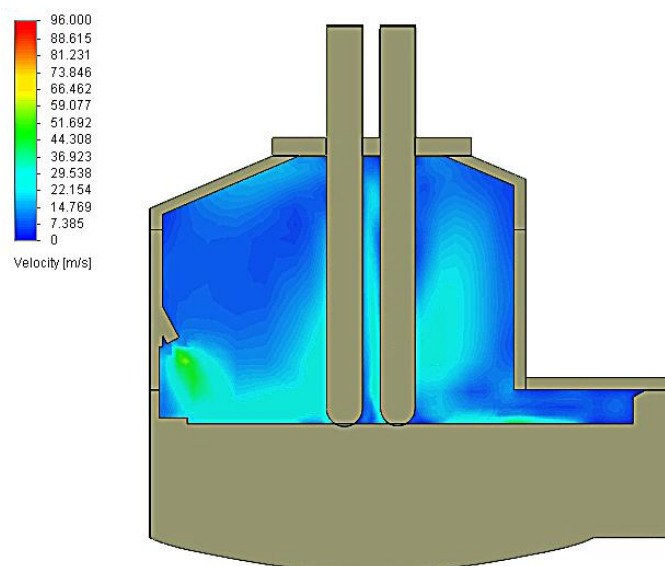


Рис. 4. Распределение поля скоростей в продольной осевой плоскости по варианту «Danieli»

В результате моделирования и анализа газодинамики рабочего пространства ДСП по проекту фирмы «Danieli» были обнаружены недостатки:

1. Слабая циркуляция горячих газов у зеркала ванны и низкая эффективность передачи тепла шихте.

2. Формирование неоднородного поля скорости и температур в объеме печи, одновременное существование плохо прогреваемых областей и зон локального перегрева.

3. Пересечение аэродинамических границ факела с огнеупорной футеровкой откосов ванны и зоны шлакового пояса.

4. Прямое воздействие продуктов сгорания топлива на электроды, высокая вероятность их перегрева, деформация и поломки.

Существует схема установки и расположения горелок, способная частично устранить описанные проблемы [2]. В целях сравнения была подготовлена соответствующая геометрия рабочего пространства. При тех же граничных условиях осуществлен расчет этой модели, результат которого представлен на рис. 5.

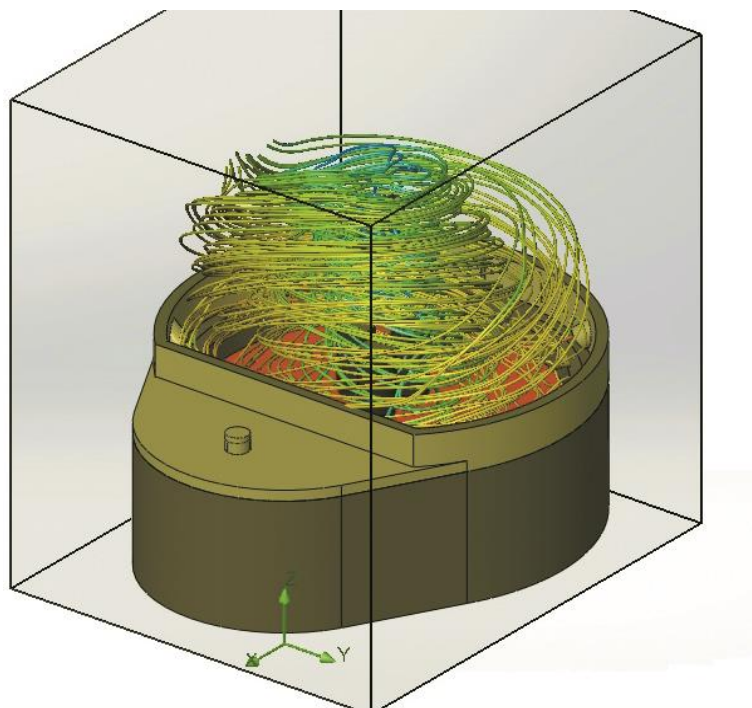


Рис. 5. Траектории движения газовых потоков в объеме рабочего пространства при рекомендованном расположении горелок

По линиям тока можно отметить, что характер движения газов изменился в лучшую сторону. Особое расположение горелок обеспечило горизонтальную циркуляцию газов, вызвало закручивание потоков в объеме рабочего пространства между электродами и поверхностью стенки.

Пользуясь инструментом Cut Plot можно наблюдать за распределением поля скорости в различных сечениях (рис. 6, 7).

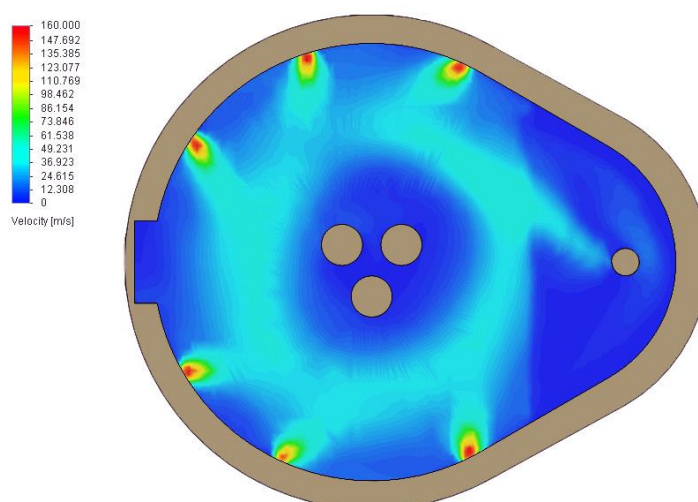


Рис. 6. Распределение поля скорости в горизонтальном сечении на уровне горелок при рекомендованном расположении горелок

Движение газов равномерно затрагивает области рабочего пространства, куда поступает недостаточно тепла от электрических дуг. Благодаря указанному расположению горелок не допускается воздействие газового потока на поверхность электродов. Под действием центробежных сил газы отводятся от боковых стенок печи.

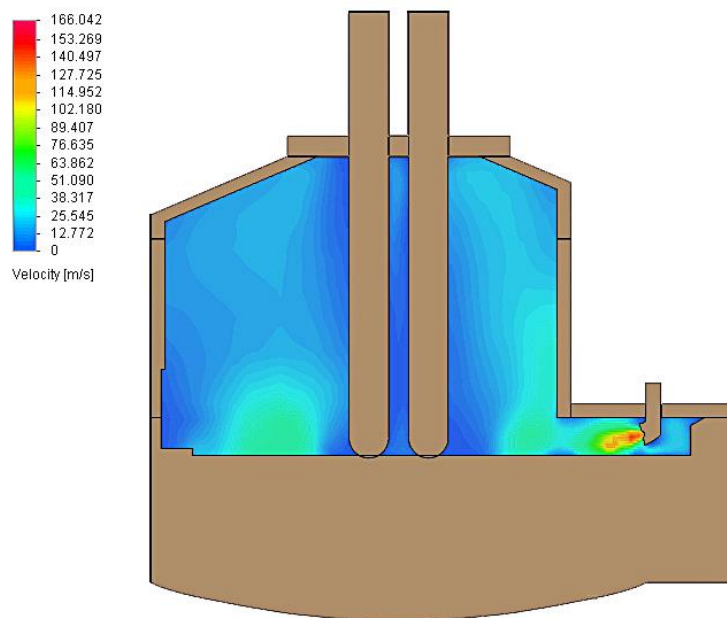


Рис. 7. Распределение поля скоростей газов в продольном сечении при рекомендованном расположением горелок

К моменту попадания в подсводовое пространство и канал дымоудаления, газы совершают до четырёх оборотов, с большей эффективностью передавая тепло шихте.

Таким образом следует сделать вывод о том, что предложенная методика компьютерного моделирования аэродинамического состояния в рабочем пространстве дает возможность без натурального эксперимента оценить и выбрать рациональный способ подвода энергоносителей в рабочее пространство ДСП.

Список литературы

1. *Белковский А. Г.* Современное состояние и тенденции развития технологии производства стали в ДСП и их конструкции / А. Г. Белковский, Я. Л. Кац, М. В. Краснянский // Бюллетень «Черная металлургия». 2013. № 3. С. 72–78.
2. *Воронов Г. В.* Особенности аэродинамики в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи / Г. В. Воронов, М. В. Антропов, О. В. Порох // Новые огнеупоры. 2014. № 7. С. 19–21.