

Модернизация участка ШВУ. Базовый инжиниринг.

Зона дожигания горючих над шлаком печи ШВУ.

Моделирование зоны дожигания.

Проект расположения фурм. Регулирование.

Новосибирск

2016 г.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДОЖИГАНИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ДОЖИГАНИЯ

Процесс фьюмингования в ШВП обеспечивается путем продувки шлака воздухом в смеси с восстановителем (углем). Угольная пыль в смеси с воздухом подаётся через фурмы, расположенные по периметру ШВП и подключенные к общему раздающему коллектору.

Температуры в шлаке при продувке имеют значения 1150-1200°C. При взаимодействии шлака с угольной пылью в объеме печи происходят процессы восстановления твердых оксидов цинка ZnO , содержащихся в шлаке, до чистого цинка Zn , выходящего в парообразном состоянии (в виде возгонов) над поверхностью шлака. После вылета с газами из объема шлака восстановленных паров цинка и свинца их необходимо окислить до окислов, что происходит в настоящее время над ванной шлака, в переходном газоходе и частично в КУ. Предпосылкой для окисления паров цинка и свинца до окислов является первоочередное окисление окиси углерода до двуокиси углерода, т.к. окись углерода является сильным восстановителем и реагирует с кислородом быстрее, чем пары цинка и свинца. Практически процессы дожигания CO , окисления паров цинка и свинца идут одновременно и параллельно, никакой жесткой очередности нет. Но при наличии CO в газах окисление цинка и свинца замедляется/затягивается. Об этом свидетельствует наличие в настоящее время в составе возгонов чистых металлов цинка и свинца, существует даже технология специального повышения концентрации CO в газах и получения чистых металлов цинка и свинца конденсацией из паров путем охлаждения газов. Поэтому для технологии фьюмингования необходимо обеспечить дожигание CO как можно раньше и как можно полнее.

Практически происходит следующее: над поверхностью барботируемого шлака существует зона пены и зона брызг шлака в которых поверхность контакта с газовой фазой на несколько порядков больше, чем в шлаке. Именно в этой зоне происходит с наибольшей интенсивностью выделение паров металлов, выделение CO . Высота зоны около 3 -4 м. Это и есть основная зона восстановления – выхода паров металлов из шлака. Эта зона не должна быть затронута струями воздуха из

сопел дожигания, тк это приведёт к повышению в ней концентрации окислов металлов и соответственно, по закону концентраций Аррениуса, приведёт к снижению извлечения паров цинка и свинца из шлака. Окисление –дожигание СО и окисление паров металлов должно быть реализовано над «зоной восстановления». Практически это начинают делать у свода печи ШВУ. Для этого у свода печи и в районе выходного газохода в КУ установлены сопла системы дожигания, в которые подается воздух для дожигания СО и начала окисления возгонов Zn и свинца до твердых оксидов ZnO и PbO. Затем дымовые газы из ШВП, содержащие окисленные возгоны цинка и свинца поступают в КУ для охлаждения и затем подаются в отделение пылеочистки, где отделяются от газов в рукавных фильтрах.

Существующая система характеризуется неэффективной работой системы дожигания СО и поступления в КУ значительного количества неокисленных возгонов цинка и свинца, процессы окисления идут в КУ, что вызывает повышенное образование отложений оксидов на поверхностях нагрева (рис. 2.1-2.4), снижение производительности КУ и повышение температур газов за КУ перед отделением пылеулавливания. Также при работе печи отмечается вынос шлаковых капель с поверхности шлаковой ванны в зону переходного отводящего газохода, что приводит к шлакованию его нижней образующей. Поэтому при модернизации схемы дожигания необходимо учесть этот факт и по возможности предусмотреть мероприятия по уменьшению шлакования нижней образующей отводящего газохода.

Также отмечаем, что в настоящее время на выходе из печи не установлены постоянно действующие газоанализаторы, а значит, отсутствует контроль по работе системы дожигания. Помимо этого, нет возможности регулировать расход воздуха на дожигание. Такая «самостоятельная» работа печи ШВУ не может показывать высокую эффективность своей работы.

В связи со всем вышесказанным, основными требованиями, предъявляемыми к модернизированной системе дожигания являются:

- максимальное снижение (исключение) содержания неокислившихся возгонов Zn (качественно определяется по количеству СО) в конце переходного газохода от печи ШВУ к КУ;

- уменьшение выноса шлаковых капель с поверхности шлаковой ванны и, как следствие, уменьшение шлакования нижней образующей переходного газохода;
- предусмотрение возможности регулирования происходящих в печи процессов.



Рис. 2.1. Состояние ширм (радиационная часть КУ) после 8-ми суток работы.



Рис. 2.2. Состояние экранов и ширм (радиационная часть КУ) после 8-ми суток работы.



Рис. 2.3. Состояние фестона и пароперегревателя после 8-ми суток работы.



Рис. 2.4. Состояние поверхностей нагрева после расшлаковки.

2. ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

Создание расчетной модели включает в себя геометрическую модель шлаковозгоночной печи, построение расчетной сетки на данной геометрической модели, задание исходных данных, граничных условий и физических моделей.

Геометрическая модель шлаковозгоночной печи создавалась в программном комплексе DesignModeler на основании чертежей 01-Э-325.00.00.00 СБ. Общий вид геометрической модели представлен на рис. 3.1. Далее в программном комплексе Ansys Meshing данная геометрическая модель покрывалась расчётной сеткой (рис. 3.2). Общее количество полиэдральных и гексаэдральных ячеек в расчетной модели составляет ~500000 элементов.

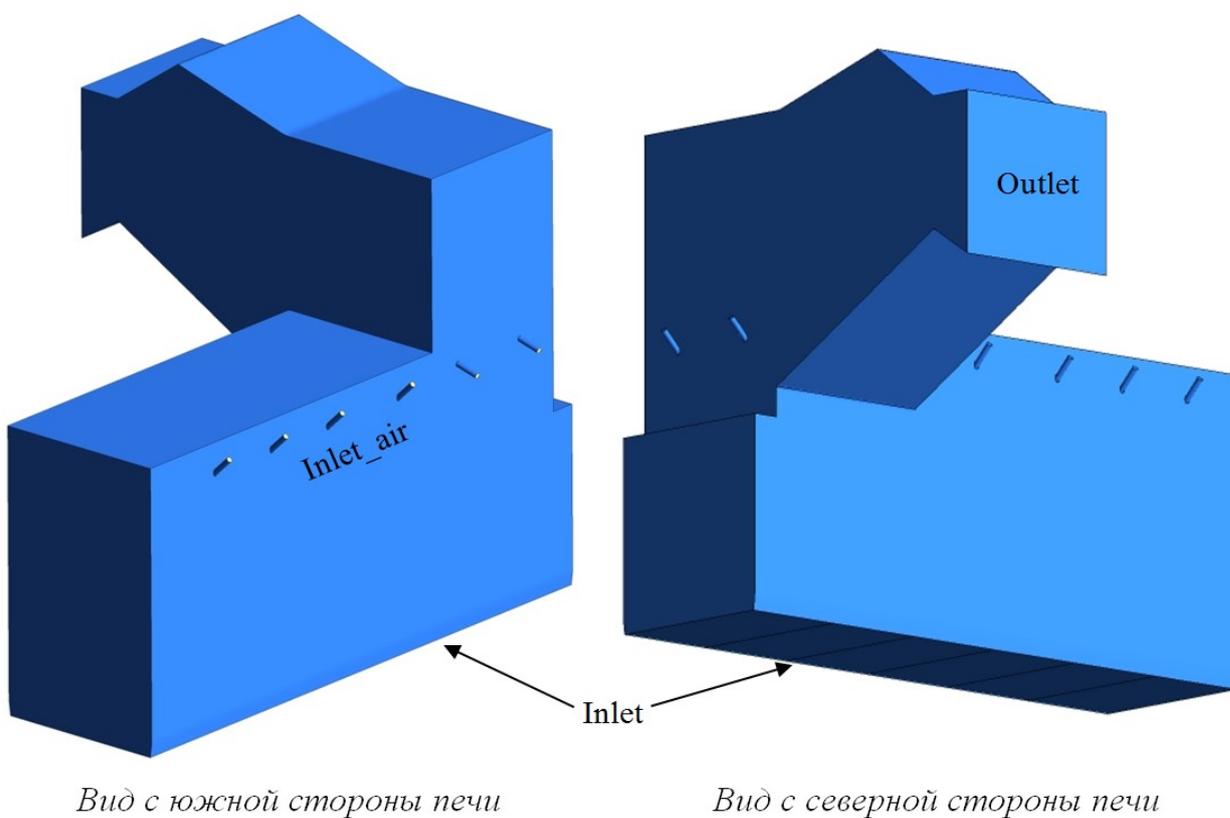


Рис. 3.1. Общий вид геометрической модели шлаковозгоночной печи в существующем исполнении.

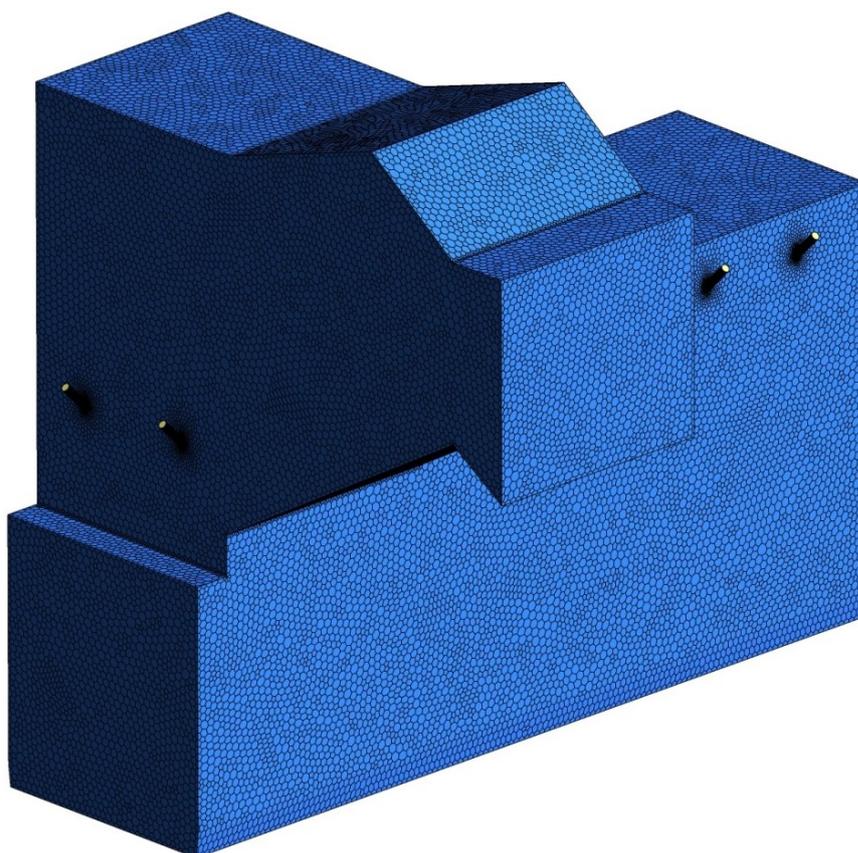


Рис. 3.2. Расчётная сетка.

При моделировании зоны дожигания задавались следующие граничные условия (ГУ) с принятыми допущениями:

- inlet - вход в расчётную область представляет собой горизонтальное сечение шлаковой ванны. Данное сечение условно разбивается на 6 равных по площадям зон (рис. 3.3), для каждой зоны посчитано количество находящихся в ней фурм. Такой частоты разбиения вполне достаточно для корректного описания процессов дожигания. Таким образом в расчётной модели задаётся существующая неравномерность распределения пыли по фурмам (см. параметр ΔV в таблице 4.2), которая была получена при моделировании коллектора пыли [4]. По сути, моделируется вся печь от поверхности шлака с учетом процессов, происходящих в самом шлаке и существующих неравномерностей. Распределение транспортирующего агента по фурмам и воздуха, подаваемого под шлак, задаётся равномерно (ввиду большого сопротивления шлака, что подтвердилось математическим моделированием коллектора пыли). Исходя из известного количества находящихся в каждой зоне фурм, можно посчитать расход воздуха и расход пыли в каждой зоне, а значит, возможно оценить и избыток воздуха в каждой из 6 зон (см. параметр

$\alpha_{\text{зоны}}$ в таблице 4.2). Также принято, что до входа в расчётную область прошли реакции восстановления оксидов металла, а также реакции пиролиза, горения летучих и окисления коксового остатка. В качестве допущения принято, что при реагировании углерода с кислородом в шлаке образуется 80-90% CO и 10-20% CO₂ (учтён наихудший вариант по содержанию CO в отходящих газах). Таким образом, в каждой зоне рассчитывается расход и состав продуктов сгорания, а также исходя из этого - восходящая скорость газового потока. Параметрами для задания ГУ inlet являются: скорость газов, состав газов, температура газов (принимается равной $T = 1200$ °C);

- inlet_air – вход в расчётную область воздуха на дожигание. Параметры для задания ГУ: скорость воздуха на выходе из сопел, состав воздуха (21% O₂ + 79% N₂), температура воздуха;
- outlet – выход из расчётной области. Параметр для задания: массовая доля покидающих расчётную область газов. В данном случае выход из расчётной области один, поэтому $\delta_M^{\text{out}}=1$.

Основные физические модели, используемые для правильного описания поставленной задачи:

- Модель турбулентности – k-e model;
- Модель лучистого теплообмена – Discrete Ordinates model;
- Модель реагирующего потока – Species Transport model.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 2 3 4 | 5 6 7 | 8 9 10 | 11 12 13 14 15 | 16 17 18 19 20 | 21 22 23 24 |
| | | | | | 53 |
| | | | | | 54 |
| <i>ЗОНА 1</i> <i>(окислительная)</i> | <i>ЗОНА 2</i> <i>(стехиометрическая)</i> | <i>ЗОНА 3</i> <i>(стехиометрическая)</i> | <i>ЗОНА 4</i> <i>(восстановительная)</i> | <i>ЗОНА 5</i> <i>(восстановительная)</i> | <i>ЗОНА 6</i> <i>(восстановительная)</i> |
| | | | | | 55 |
| | | | | | 56 |
| 25 26 27 28 | 29 30 31 32 33 | 34 35 36 37 38 | 39 40 41 42 43 | 44 45 46 47 48 | 49 50 51 52 |

Рис. 3.3 - Схема разбиения входного сечения по неравномерности раздачи пыли по фурмам (по периметру рисунка приводится нумерация фурм, принятая в [4]).

Поскольку математическая модель содержит большое количество ячеек, а в самой постановке задачи помимо расчёта аэродинамики производится расчёт лучистого теплообмена и реакции горения CO, всё это предъявляет высокие требования к вычислительным ресурсам. В связи с этим, моделирование

производились на шести рабочих станциях, объединённых специальной сетью, производительность системы около 800 Гигафлопс. Оценка сходимости решения производилась на основании изменения выходных параметров (концентрации CO, O₂ и температуры газов), колебания которых не должны превышать 3-5%. Достижение такого состояния для каждого варианта при использовании шести рабочих станций занимало ~160 часов, однако, опираясь на накопленный опыт в подобных задачах, некоторые неперспективные расчёты прерывались раньше. Подготовка к расчёту каждого варианта, которая включает в себя создание геометрии, построение расчётной сетки приемлемого качества, задание граничных условий и параметров модели занимает значительное время, кроме того нестабильность численных алгоритмов и вычислительная стратегия вынуждают постоянно осуществлять контроль решения и корректировку параметров алгоритмов.

Для проверки принятых технических решений было произведено математическое моделирование физико-химических процессов, происходящих в зоне дожигания шлаковозгоночной печи. Моделирование производилось в программном комплексе Ansys Fluent для следующих вариантов:

- Вариант 1. Эксплуатационное распределение пыли АШ по фурмам при существующей системе пылеприготовления без изменений в системе подачи третичного воздуха (рис. 1.1-1.3, Глава 4);
- Вариант 2. Эксплуатационное распределение пыли АШ по фурмам при существующей системе пылеприготовления с изменениями в системе подачи третичного воздуха (рис. 5.2, Глава 6, раздел 6.1);
- Вариант 3. Эксплуатационное распределение пыли АШ при модернизированной системе пылеприготовления с принятыми изменениями в системе подачи третичного воздуха (рис. 5.2, Глава 6, раздел 6.1);

Целью моделирования являлась проверка эффективности дожигания оксида углерода, что является необходимым условием для дальнейшего эффективного окисления паров металла до входа в котёл-утилизатор. Результатом моделирования стало определение полей скоростей и концентраций компонентов топочной среды, изменения динамики процесса по высоте печи, а также разработка рекомендаций по ведению режимов работы печи (системы дожигания).

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗОНЫ ДОЖИГАНИЯ

Вариант 1.

Описание существующей системы дожигания представлено в разделах 1 и 2. Исходные данные для расчёта представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

| Параметр | Обозначение | Величина |
|--|------------------------------|----------|
| Избыток воздуха на выходе из печи | α_T'' | 1,04 |
| Расход транспортирующего агента (воздух с водяными парами после 2х мельниц), $\text{нм}^3/\text{ч}$ | $Q_{\text{ТА}}$ | 16000 |
| Температура транспортирующего агента, $^{\circ}\text{C}$ | $T_{\text{ТА}}$ | 130 |
| Доля воздуха в транспортирующем агенте (от теоретически необходимого BV_0^H на сжигание угольной пыли) | $\Delta\alpha_{\text{ТА}}$ | 0,41 |
| Расход воздуха, подаваемого под шлак (от BV_0^H), $\text{нм}^3/\text{ч}$ | $Q_{\text{в.шл.}}$ | 11000 |
| Температура воздуха, подаваемого под шлак, $^{\circ}\text{C}$ | $t_{\text{в.шл.}}$ | 250 |
| Доля воздуха, подаваемого под шлак (от BV_0^H) | $\Delta\alpha_{\text{в.шл}}$ | 0,29 |
| Расход третичного воздуха на дожигание, $\text{нм}^3/\text{ч}$ | $Q_{\text{тр}}$ | 12900 |
| Температура третичного воздуха на дожигание, $^{\circ}\text{C}$ | $t_{\text{тр}}$ | 80 |
| Доля третичного воздуха на дожигание (от BV_0^H) | $\Delta\alpha_{\text{тр}}$ | 0,34 |
| Эквивалентная доля воздуха от восстановления металлов (от BV_0^H) | $\Delta\alpha_{\text{экв}}$ | 0,08 |
| Избыток воздуха на выходе из печи с учётом экв. воздуха | $\alpha_T''(\text{экв.})$ | 1,12 |

Неравномерность раздачи пыли, а также состав и скорость газов с поверхности шлаковой ванны для каждой зоны представлены в таблице 4.2 (рис.3.3). Описание принципа расчёта параметров газового потока представлено ранее в Главе 3 «Описание математической модели».

Таблица 4.2

| Условное обозначение | Массовая доля компонента | | | | | |
|------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 0,099 | 0,151 | 0,163 | 0,189 | 0,242 | 0,306 |
| CO ₂ | 0,039 | 0,059 | 0,064 | 0,074 | 0,084 | 0,025 |
| H ₂ O | 0,020 | 0,024 | 0,025 | 0,027 | 0,030 | 0,031 |
| N ₂ | 0,695 | 0,674 | 0,669 | 0,662 | 0,643 | 0,636 |
| O ₂ | 0,147 | 0,092 | 0,079 | 0,048 | 0,001 | 0,001 |
| | Восходящая скорость газов | | | | | |
| W, м/с | 1,39 | 1,43 | 1,44 | 1,82 | 1,88 | 2,36 |
| | Массовая доля угольной пыли, подаваемой через фурмы зоны | | | | | |
| ΔB | 0,07 | 0,11 | 0,12 | 0,175 | 0,226 | 0,299 |
| | Избыток воздуха в шлаке | | | | | |
| $\alpha_{\text{зоны}}$ | 1,61 | 1,03 | 0,94 | 0,79 | 0,61 | 0,54 |

| | | | |
|--------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| <i>хар-ка зоны</i> | <i>окислит.</i> | <i>стехиометрическая</i> | <i>восстановительная</i> |
|--------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|

Как видно из представленных в таблице данных, в шлаке создаётся 3 характерных по длине печи зоны: зона окисления, стехиометрическая зона, зона восстановления (рис. 3.3). Стоит отметить, что условием эффективного протекания процесса фьюмингования является восстановительная среда с избытками воздуха $\alpha_{\text{шл}} < 1$ (в нашем случае общий средний избыток воздуха в шлаке составляет $\alpha_{\text{шл}} = 0,7$, $\alpha_{\text{шл.экв.}} = 0,78$). Наличие в нашем случае окислительной среды будет вести к ухудшению возгонки металлов, в то время как наличие восстановительной среды с заниженными (относительно требуемых) избытками воздуха будет приводить к недожогу СО и, как следствие, затягиванию окисления металлов и отложению их оксидов на поверхностях нагрева в котле-утилизаторе.

Результаты моделирования процессов, происходящих в шлаковозгоночной печи выше уровня шлака, представлены на рис. 4.1-4.11.

В качестве основного интегрального показателя рассматривается расход СО на выходе из шлаковозгоночной печи, который в данном варианте составил 0,25 кг/с.

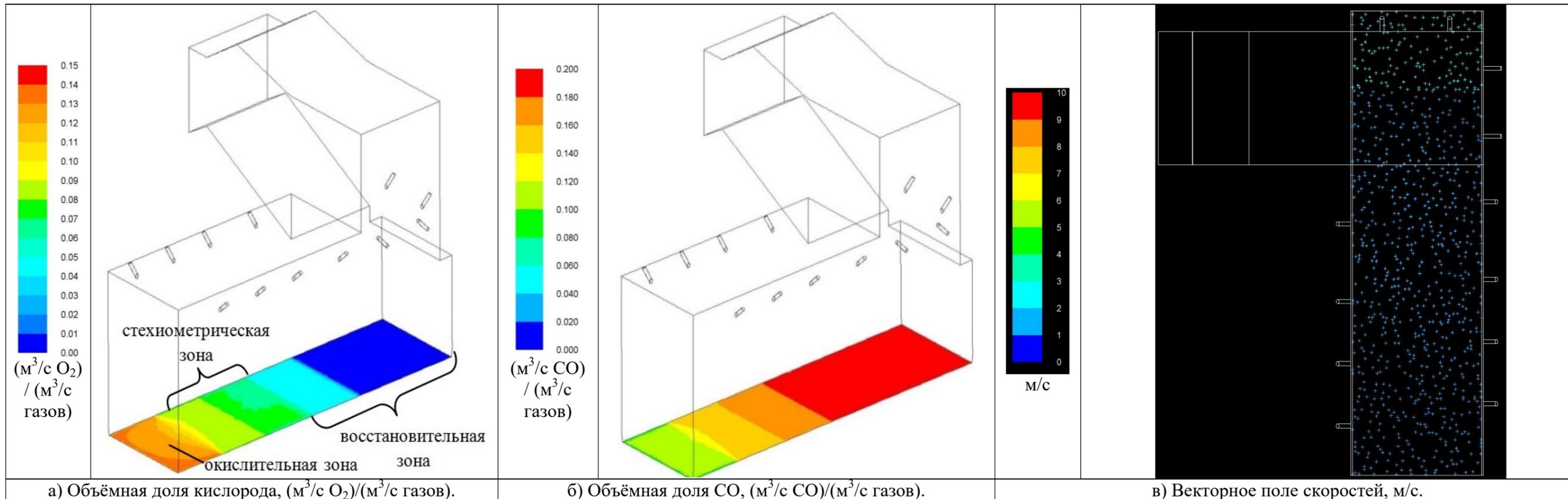


Рис. 4.1. Параметры газовой среды на входе в модель (отметка Z=4,150 м).

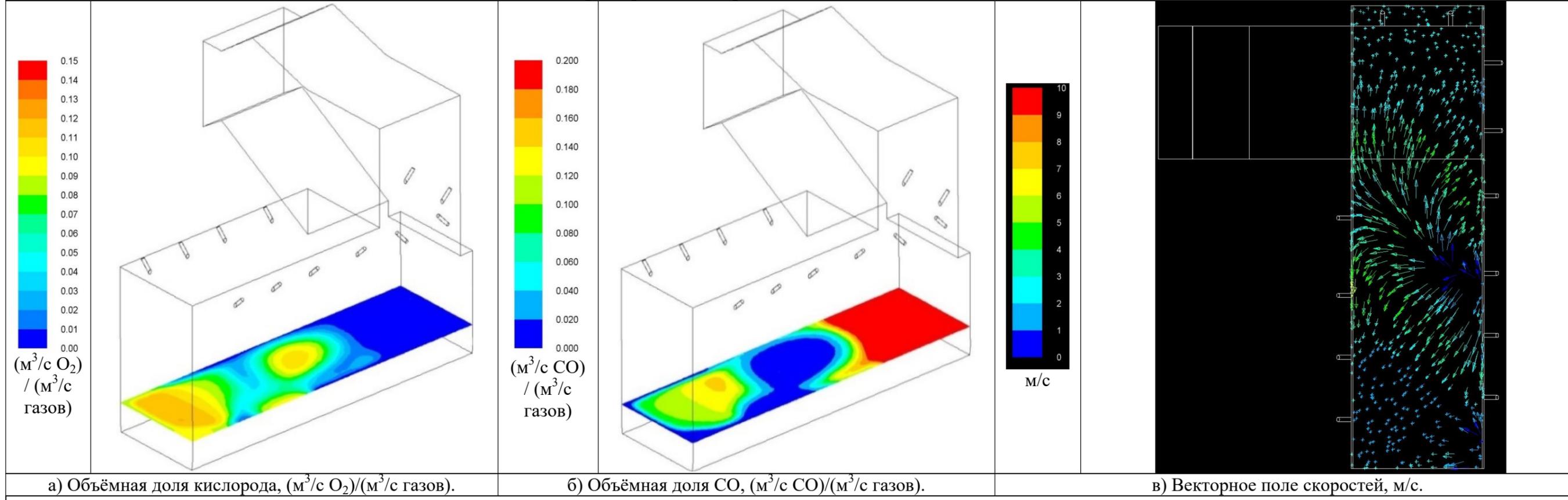


Рис. 4.2. Параметры газовой среды на отметке Z = 5 м.

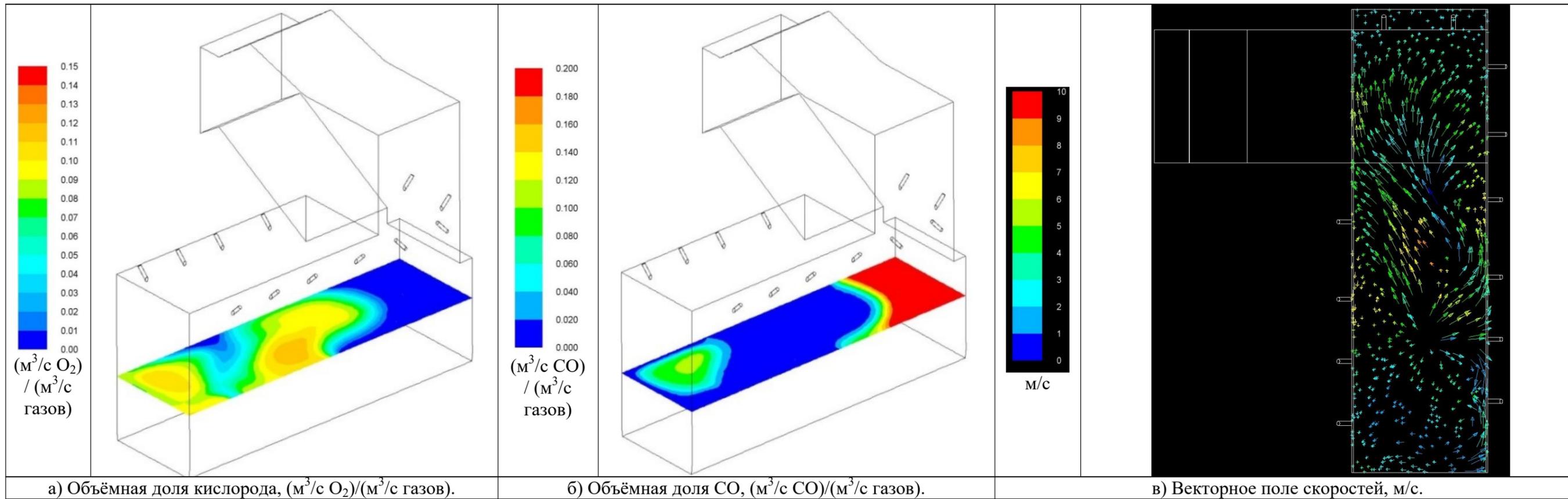


Рис. 4.3. Параметры газовой среды на отметке $Z = 6$ м.

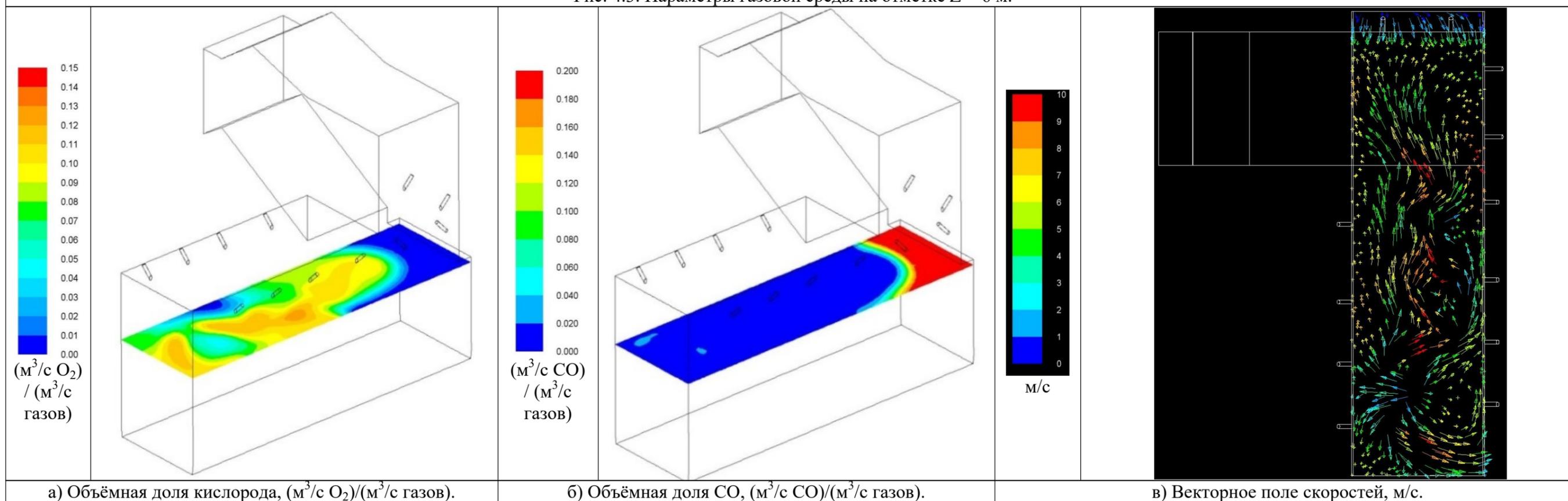


Рис. 4.4. Параметры газовой среды на отметке $Z = 7$ м.

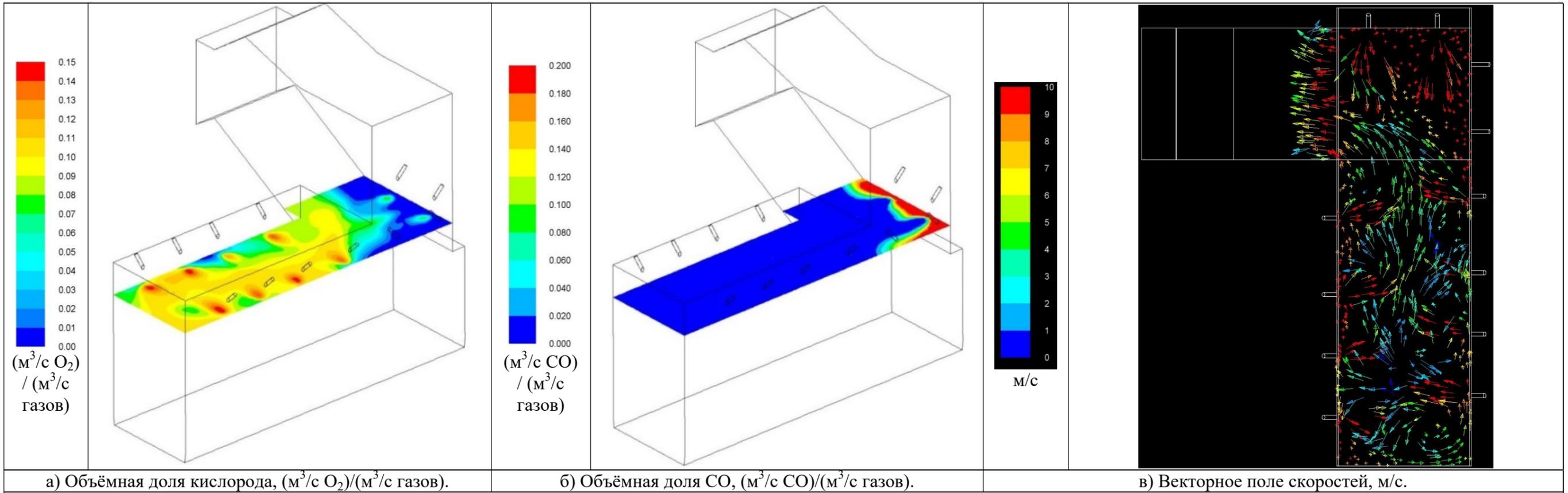


Рис. 4.5. Параметры газовой среды на отметке $Z = 8$ м.

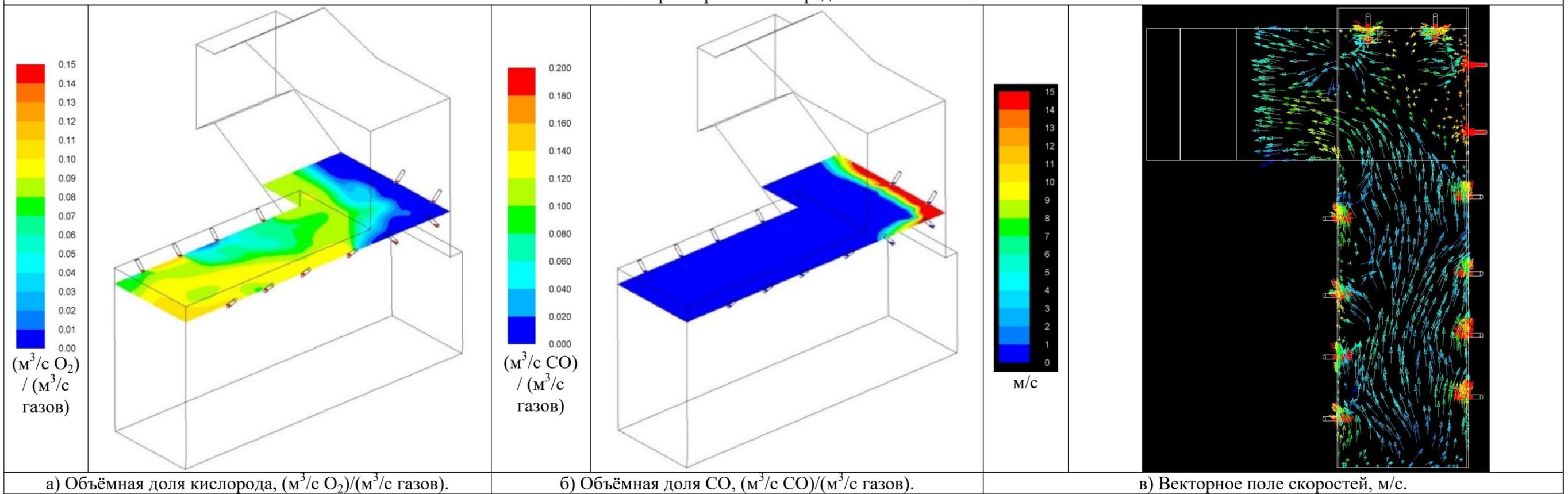
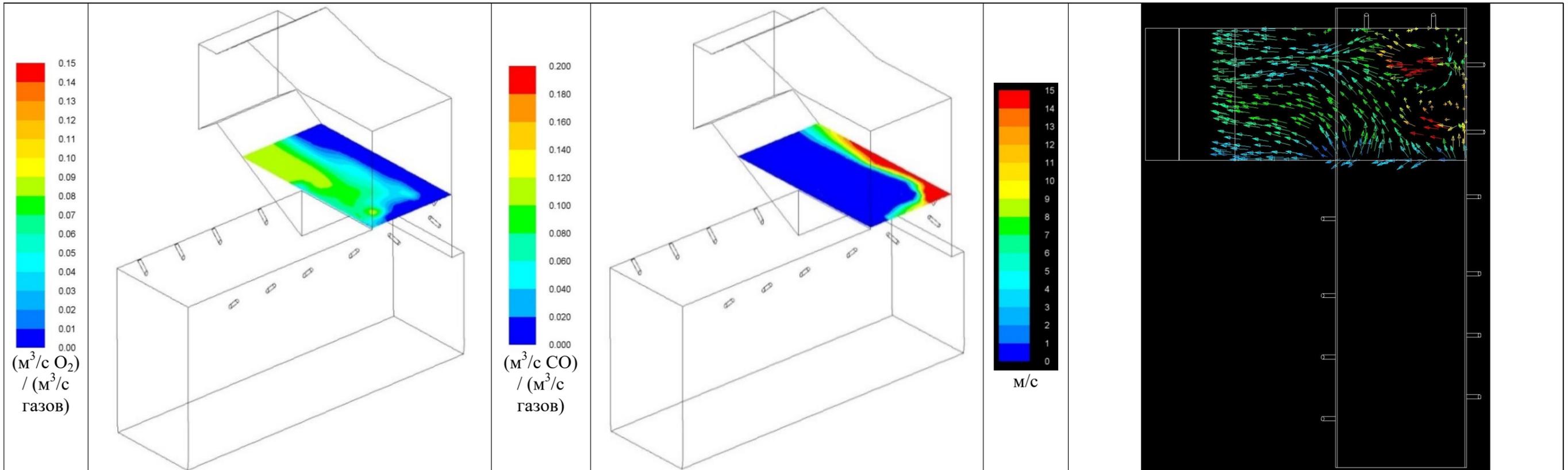


Рис. 4.6. Параметры газовой среды на отметке $Z = 8,5$ м.

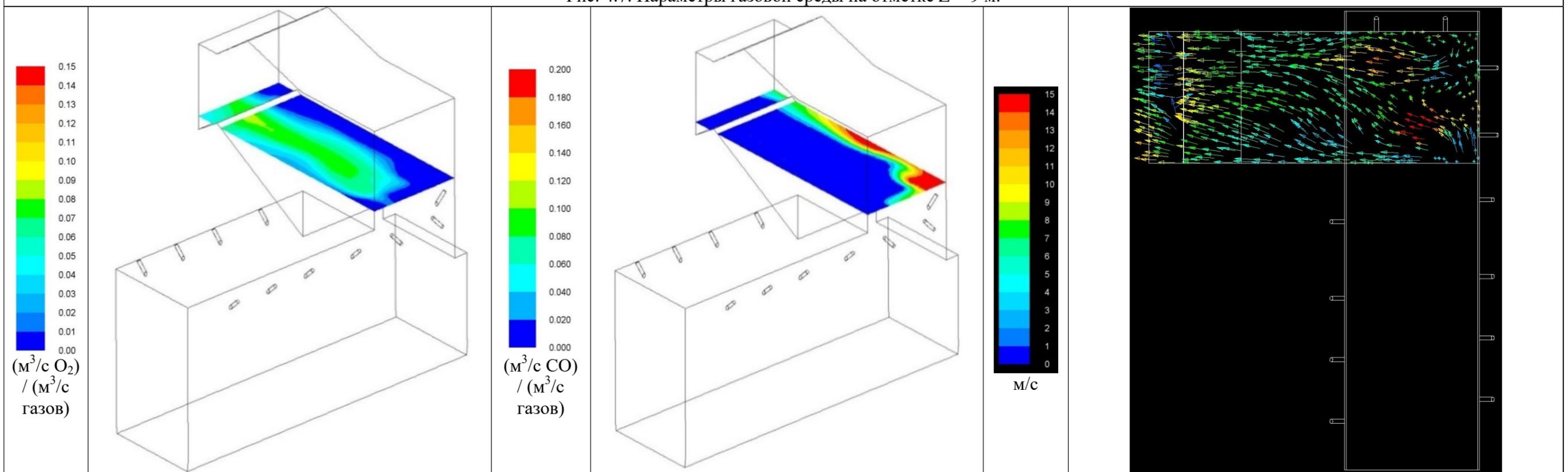


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 4.7. Параметры газовой среды на отметке $Z = 9$ м.



а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 4.8. Параметры газовой среды на отметке $Z = 9,5$ м.

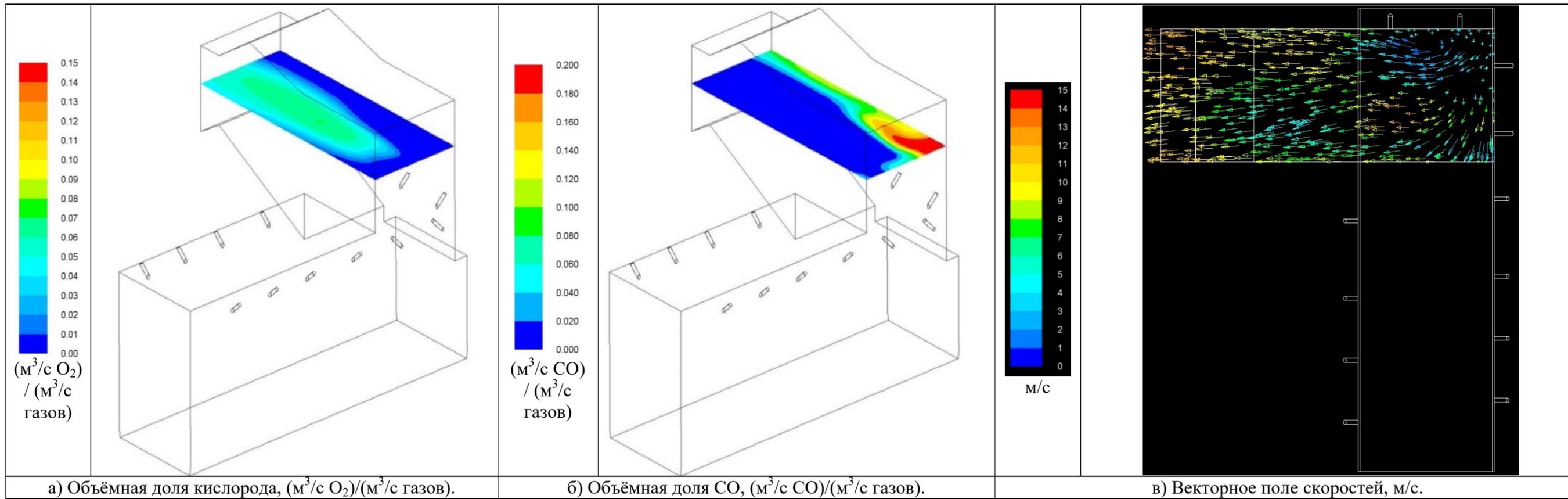


Рис. 4.9. Параметры газовой среды на отметке $Z = 10,5$ м.

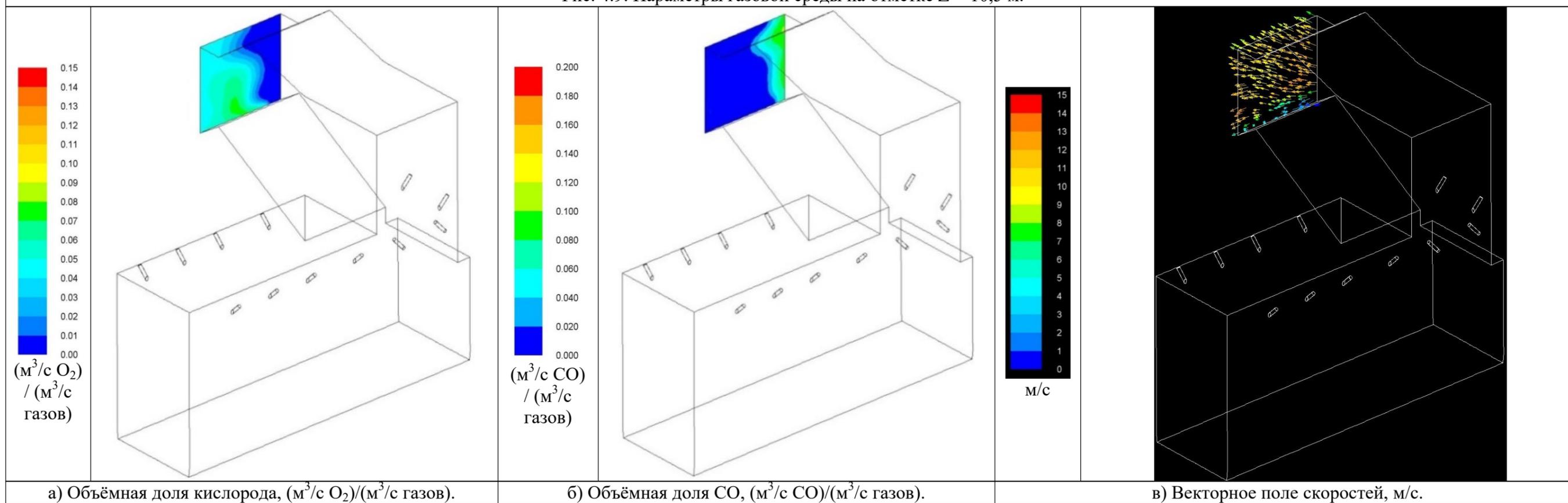


Рис. 4.10. Параметры газовой среды на выходе из печи.

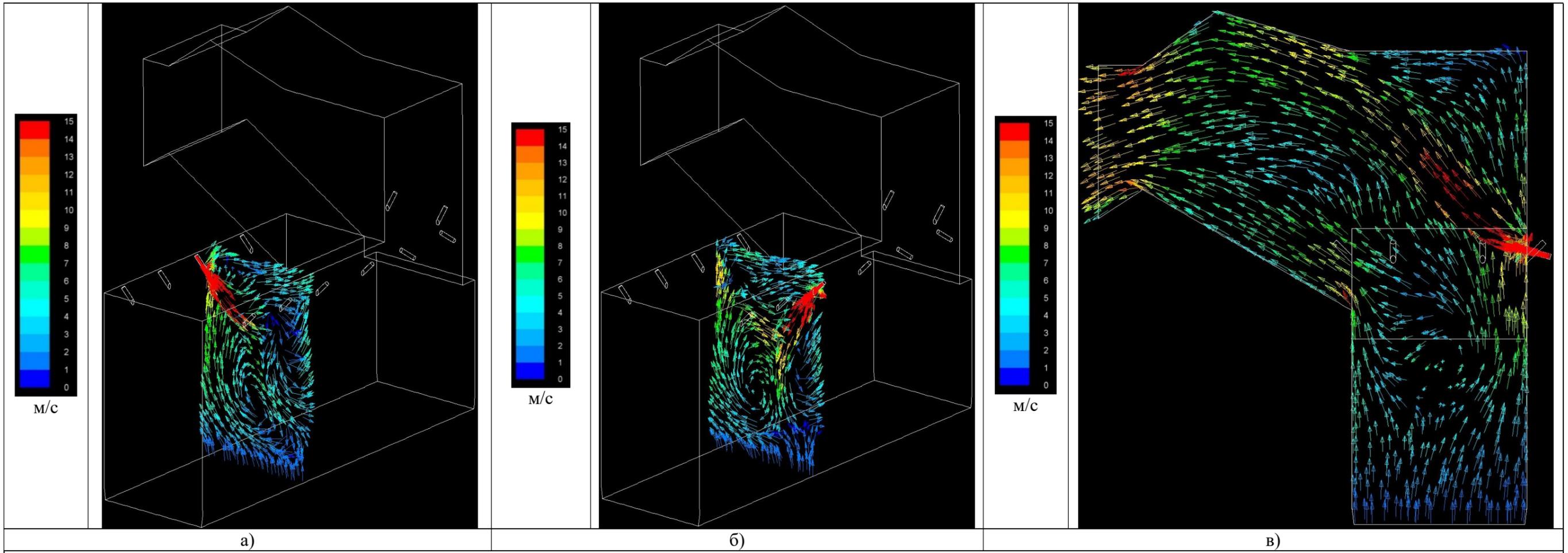


Рис. 4.11. Векторные поля скоростей в вертикальных сечениях шлаковозгоночной печи, м/с.

Анализируя поля концентраций кислорода и оксида углерода можно отметить, что в районе окислительной и стехиометрической зон идёт активное догорание СО до СО₂ (рис. 4.1-4.4), которое успешно завершается к отметке Z=7м. При этом в этих зонах остаётся большое количество свободного кислорода, которое ещё увеличивается к отметке Z=8м благодаря вводу в печь третичного воздуха. В восстановительной зоне наблюдается противоположная картина: кислорода не хватает для догорания СО (его хватило только на окисление С до СО в шлаке), а его диффузия из окислительной зоны в восстановительную (судя по векторным полям скоростей) начинает активно происходить только с отметки Z=8,5м (рис. 4.6в).

Рассматривая векторные поля скоростей в вертикальных сечениях в местах установки сопел третичного дутья (рис. 4.11а,б) можно отметить, что сложившаяся аэродинамика обеспечивает глубокое проникновение струй третичного воздуха к низу шлаковозгоночной печи до отм. 5 м (рис. 4.2а). Это происходит, с одной стороны, благодаря высоким скоростям воздуха в соплах третичного дутья и, с другой стороны, благодаря низким скоростям восходящего потока газов. Сопла третичного воздуха (в количестве 2 шт.), установленные на южной стороне печи и сонаправленные выходящему из печи потоку газов, неэффективны в дожигании СО, о чём можно судить по полям концентрации кислорода и оксида углерода (рис. 4.6, 4.7, 4.8). При этом очевидно, что установленные таким образом сопла будут способствовать выносу из барботажного слоя шлаковых капель и, как следствие, шлакованию нижней образующей отводящего газохода.

В связи с этим можно сделать следующие выводы:

- Неравномерное распределение пыли по коллектору приводит к образованию в печи зон с различными избытками воздуха (рис. 3.3, 4.1): окислительной зоны ($\alpha_{зоны} > 1$), стехиометрической зоны ($\alpha_{зоны} \approx 1$) и восстановительной зоны ($\alpha_{зоны} \ll 1$);
- Наличие восстановительной зоны с заниженным относительно требуемых значений избытком воздуха приводит к значительному недожогу СО;
- Зона проскока СО расположена на восточной короткой стороне печи;
- При наличии неравномерности раздачи угольной пыли по фурмам существующая схема подачи третичного воздуха является неэффективной

(например, очевидно, что двух сопел на восточной стороне печи недостаточно). Схема расстановки сопел третичного дутья не соответствует реальному расположению зон с высоким содержанием СО (рис. 4.5) и требует внесения конструктивных изменений с целью полного дожигания СО до входа газов в котёл-утилизатор;

– Расположенные на южной стороне печи и сонаправленные выходящему из печи потоку газов сопла третичного воздуха неэффективны в дожигании и рекомендуются к демонтажу;

– Обеспечение равномерного распределения угольной пыли по фурмам – важнейшее условие эффективного дожигания СО.

В целом стоит отметить, что результаты моделирования хорошо описывают существующие проблемы в режимах работы ШВП и КУ:

1. Имеются характерные зоны проскока СО, отмеченные в некоторых эксплуатационных режимах работы печи [6];
2. Присутствуют спутные потоки, способствующие обрастанию переходной зоны каплями (брызгами) шлака.
3. Отмечаются высокие неравномерности и неудовлетворительный дожиг СО (значит и окисление возгонов), способствующие повышенному росту отложений

4. ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Разработка модернизированной системы дожигания производилась с помощью математического моделирования в программном комплексе Ansys Fluent.

В процессе поиска оптимального варианта расположения и количества сопел дожигания, было рассмотрено порядка 10 вариантов различных схем, некоторые из которых представлены на рис. 5.1.

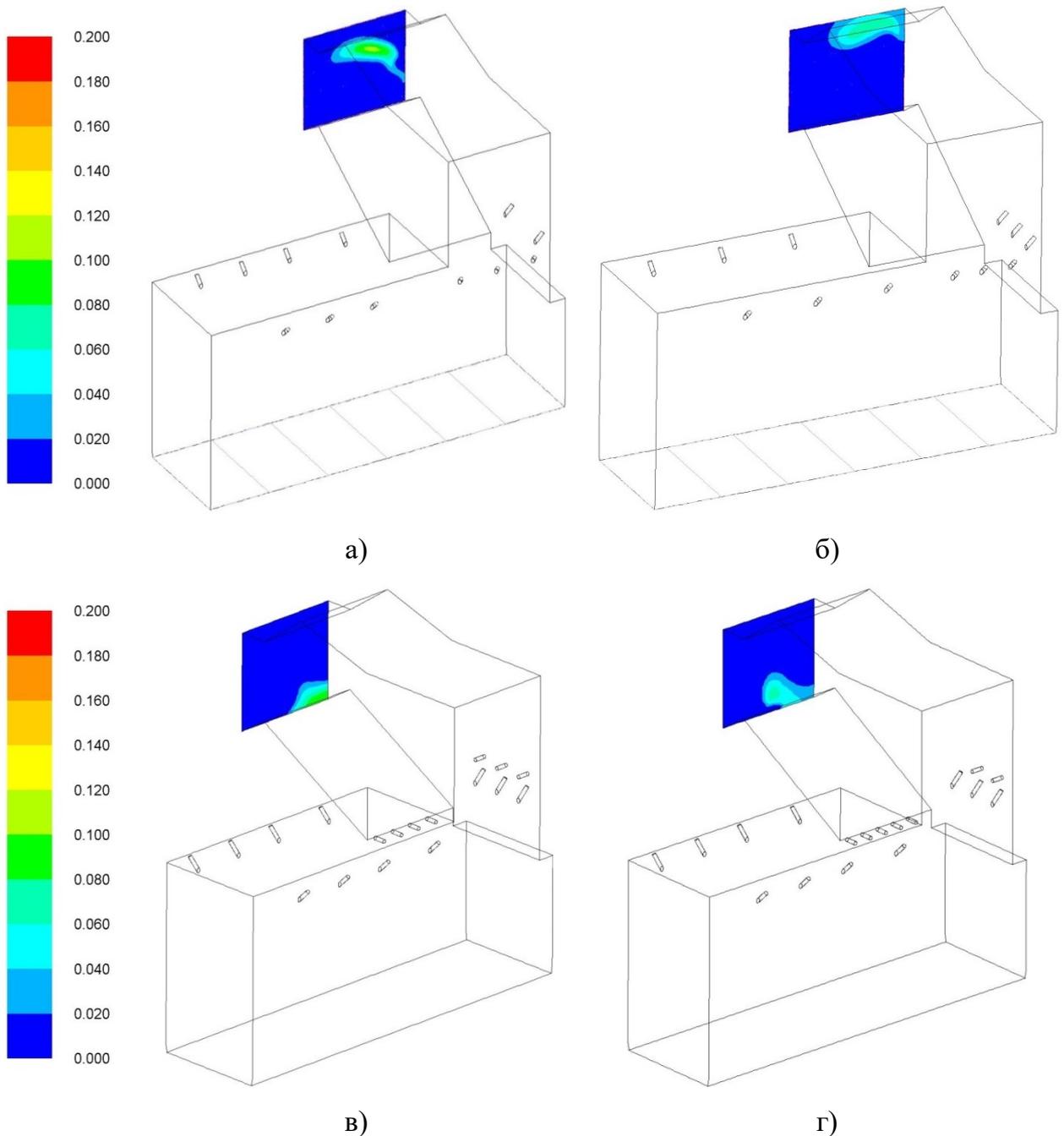


Рис. 5.1. Некоторые из рассмотренных вариантов схем расположения сопел на дожигание. На выходе из печи представлено поле объёмного содержания CO, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Как уже было отмечено ранее, расположенные на южной стороне печи и сонаправленные выходящему из печи потоку газов сопла третичного воздуха в существующем варианте (рис. 1.1-1.3, 3.1) неэффективны в дожигании. Они уменьшают время пребывания газовой фазы в верхней части печи, и, соответственно, способствуют выносу неокисленных возгонов в КУ. Кроме того, данные сопла интенсифицируют вынос капель шлака, вылетающих с поверхности шлаковой ванны, в переходной газоход. Наброс капель шлака на поверхность переходного газохода вызывает образование на нем твердого слоя отложений, толщиной 300...400 мм, тяжело поддающегося удалению [5]. Поэтому после первых же расчётов данные сопла были исключены. Поскольку проскок СО наблюдается на восточной короткой стороне печи, то все последующие варианты расположения сопел дожигания были направлены на обогащение кислородом зоны выходного окна. Каждый из рассмотренных вариантов давал некоторое улучшение догорания СО, однако значительные результаты были достигнуты путём установки под отводящим газоходом горизонтально расположенных сопел дожигания. Положительный эффект данных сопел заключается, с одной стороны, в обогащении зоны выходного окна кислородом, с другой стороны, они играют роль «воздушной завесы», изменяя направление потока выходящих из печи газов (поддерживается восходящее движение вплоть до потолка печи), что в свою очередь увеличивает время нахождения газов в печи, а следовательно, и условия дожигания. Также создаваемая ими «воздушная завеса» в некоторой мере препятствует выносу капель шлака в переходной газоход. Далее был проведён ещё ряд расчётов по поиску оптимального количества горизонтальных сопел и сопел, установленных на восточной стороне печи. В результате проведённых расчётов была выбрана конструкция, приведенная на рис.5.2 и в Приложении 1.

Существующая конструкция сопел третичного дутья удовлетворяет требованиям по проникновению воздушных струй, отработана и вписывается в существующую конструкцию кессонов. При отсутствии особых требований нет оснований для замены конструкции сопел, поэтому она оставлена без изменений при модернизации системы дожигания.

Основные изменения по сравнению с существующей системой следующие:

- Убраны 2 сопла, располагавшиеся напротив выходного окна в КУ;
- Добавлены 4 сопла на восточную стену ШВП к существующим двум;
- Под сводом газохода в КУ установлены 4 новых сопла.

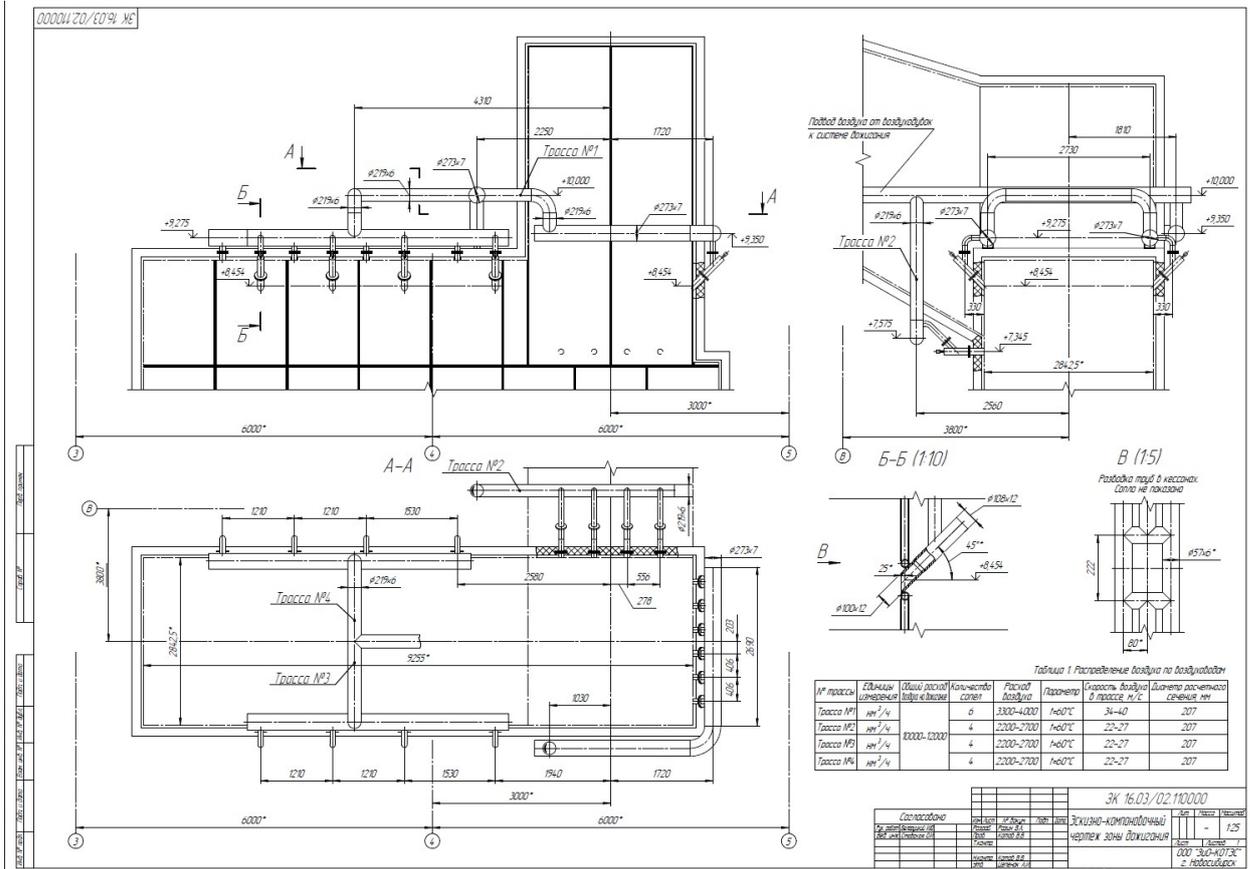


Рис. 5.2. Модернизированная схема расположения сопел дожигания.

5. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДОЖИГАНИЯ

5.1. Существующая система пылеприготовления и модернизированная схема расположения сопел дожигания (Вариант 2).

На основании многовариантных расчётов (рис. 5.1) с различными компоновками сопел подачи третичного воздуха определено рациональное, с точки зрения дожигания, их расположение (рис. 6.1.1).

По сравнению с существующим вариантом (рис. 1.1-1.3) система подачи третичного воздуха изменена следующим образом (рис. 6.1.1):

- изменено количество и расположение сопел;
- расход воздуха увеличен до $14100 \text{ м}^3/\text{ч}$, что соответствует избытку на выходе из печи $\alpha_T'' = 1,07$ ($\alpha_T''_{\text{экв}} = 1,15$).

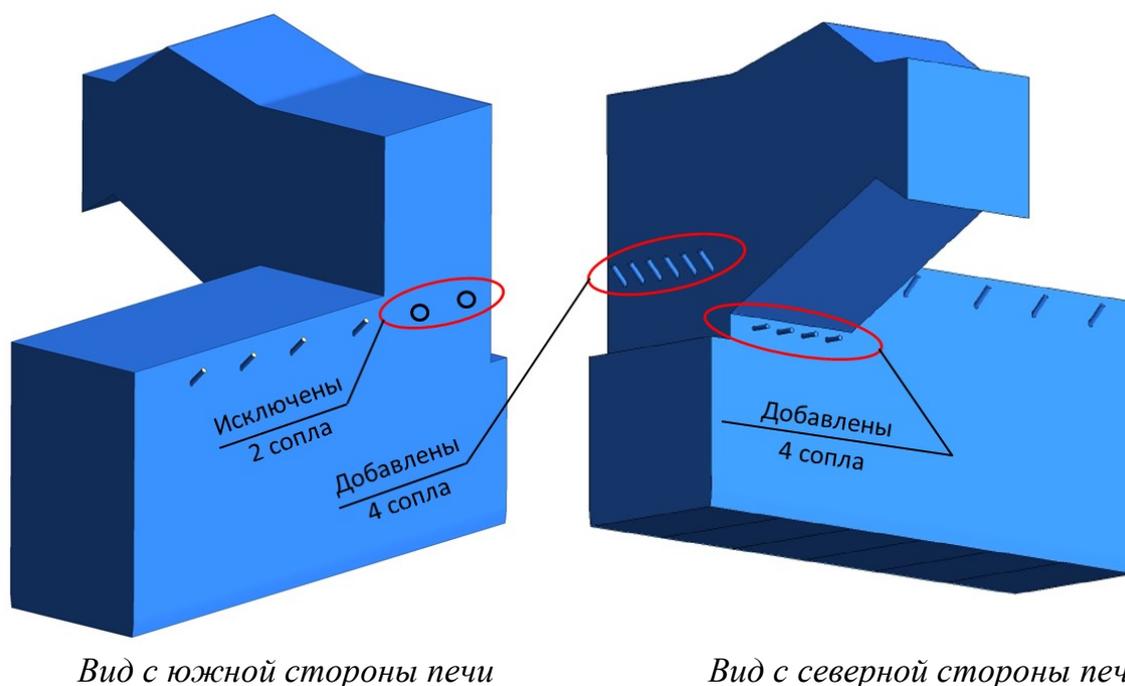
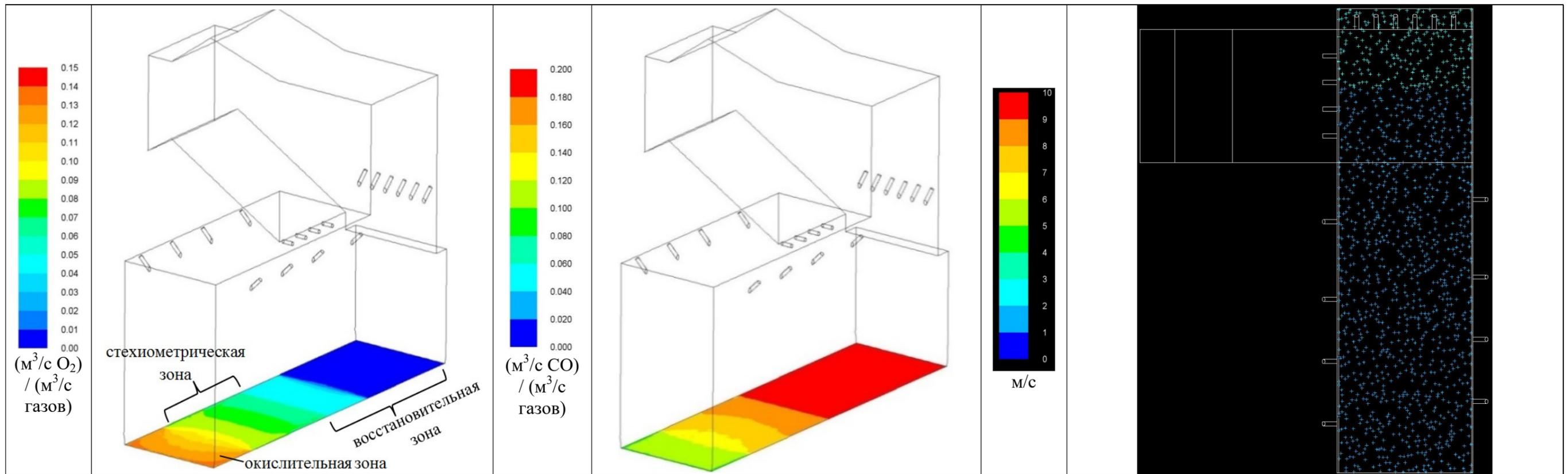


Рис. 6.1.1. Геометрия шлаковозгоночной печи с модернизируемой системой подачи воздуха на дожигание.

Принятые решения направлены на эффективное дожигание СО и, как следствие, окисление возгонов в пределах шлаковозгоночной печи и переходного газохода - до КУ, а также на минимизацию шлакования нижней образующей отводящего переходного газохода.

Результаты моделирования процессов, происходящих в верхней части шлаковозгоночной печи, представлены на рис. 6.1.2-6.1.12.

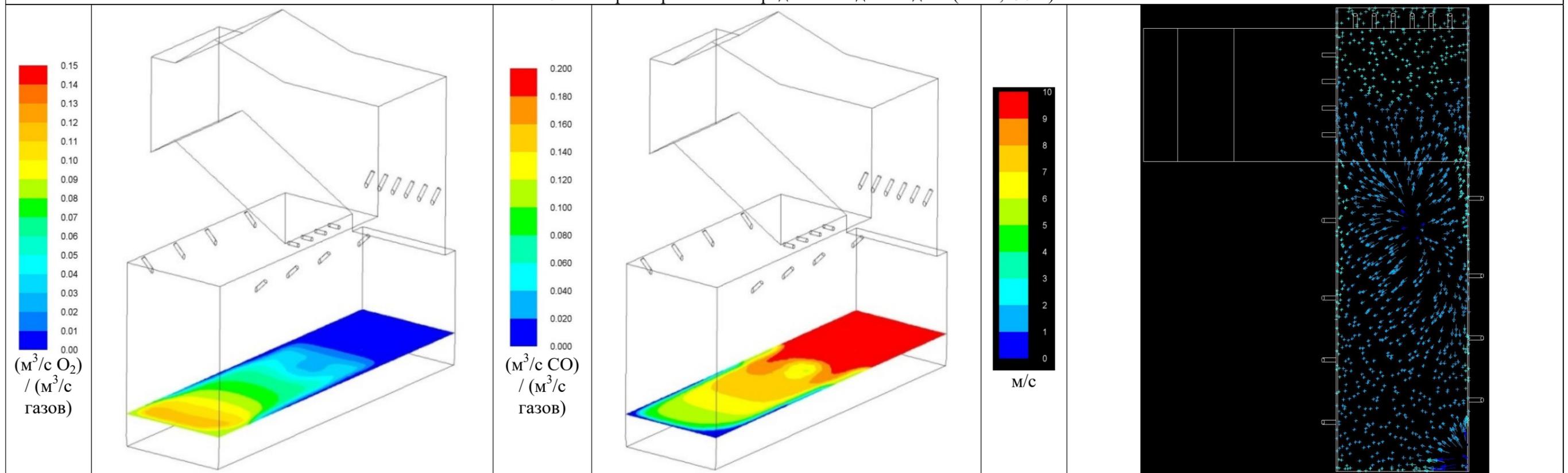


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.2. Параметры газовой среды на входе в модель ($Z = 4,150 \text{ м}$).

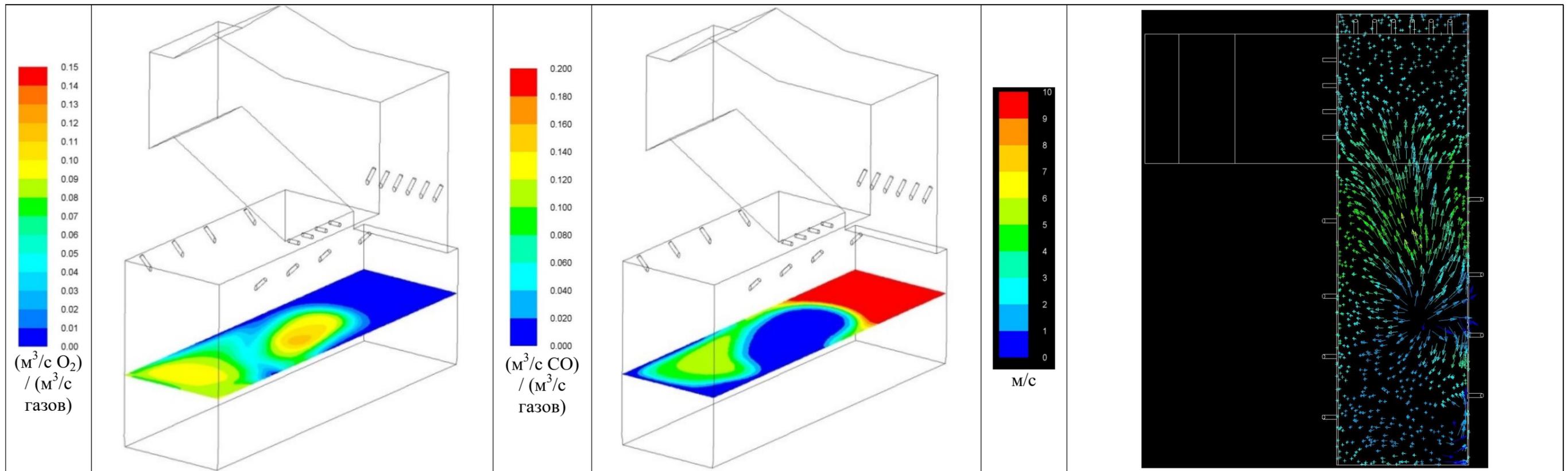


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.3. Параметры газовой среды на отметке $Z = 5 \text{ м}$.

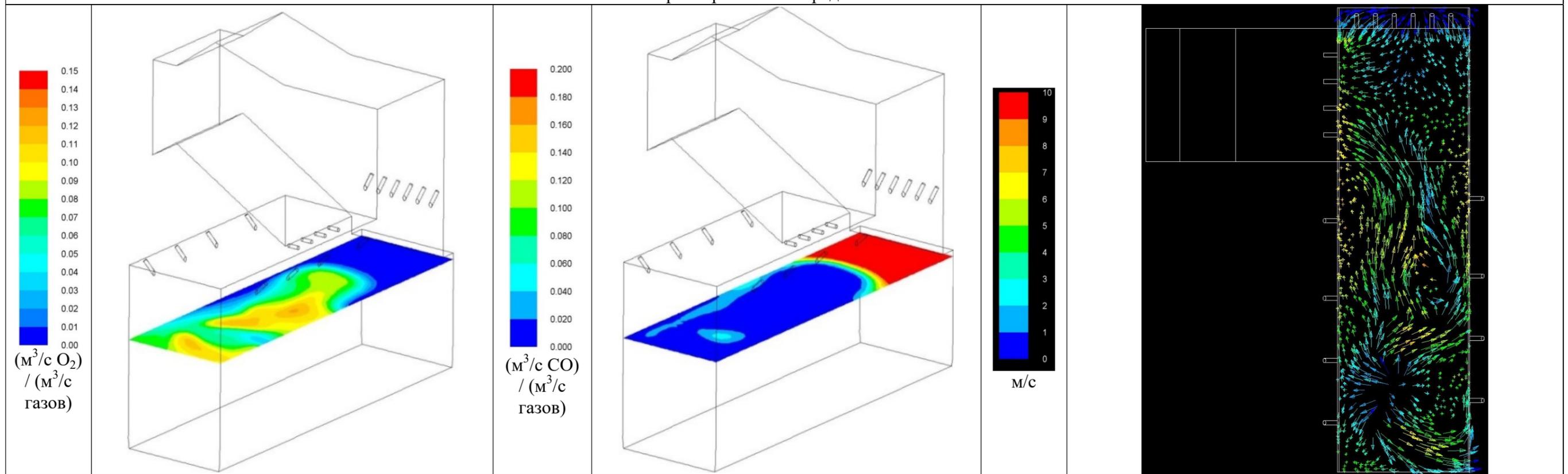


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.4. Параметры газовой среды на отметке Z = 6 м.

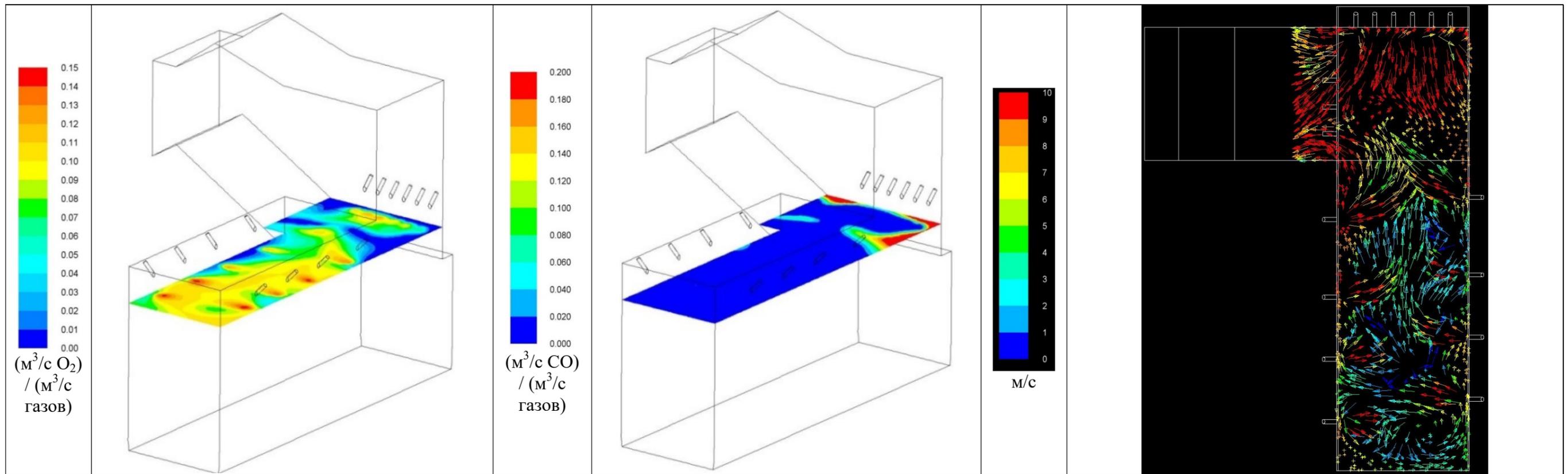


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.5. Параметры газовой среды на отметке Z = 7 м.

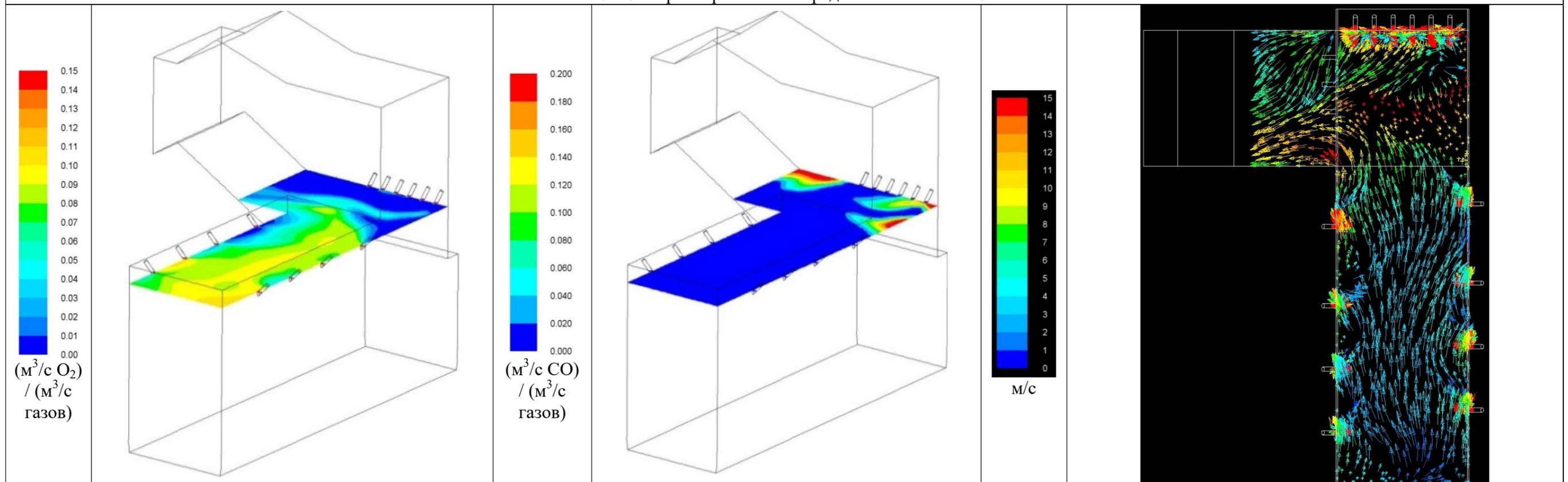


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с } O_2)/(\text{м}^3/\text{с газ.})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газ.})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.6. Параметры газовой среды на отметке $Z = 8$ м.

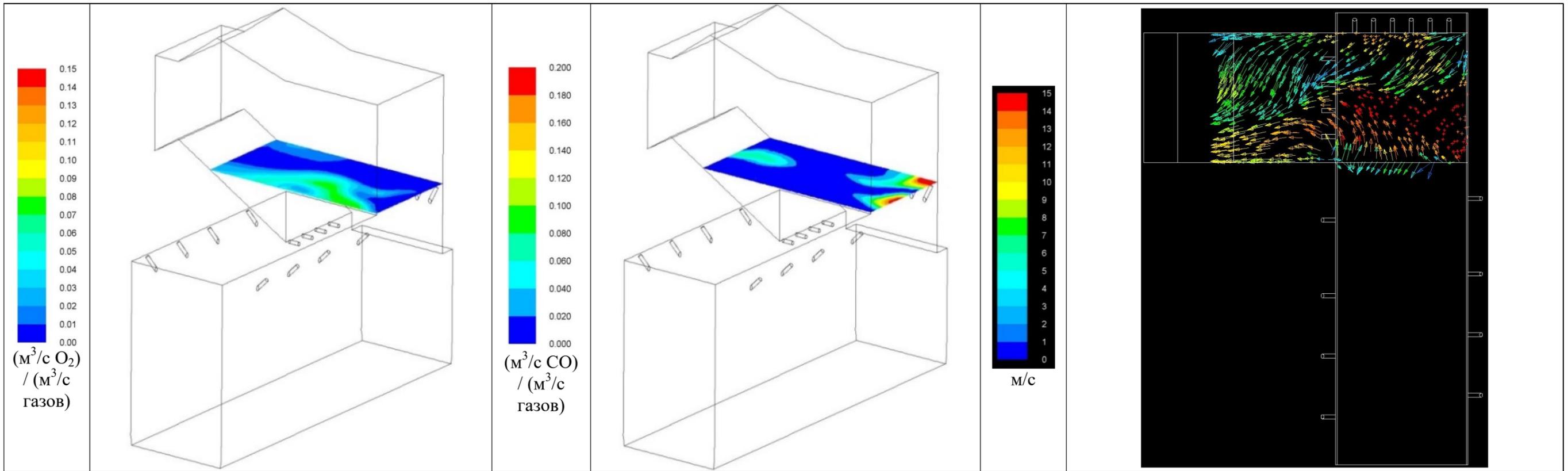


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с } O_2)/(\text{м}^3/\text{с газ.})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газ.})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.7. Параметры газовой среды на отметке $Z = 8,5$ м.

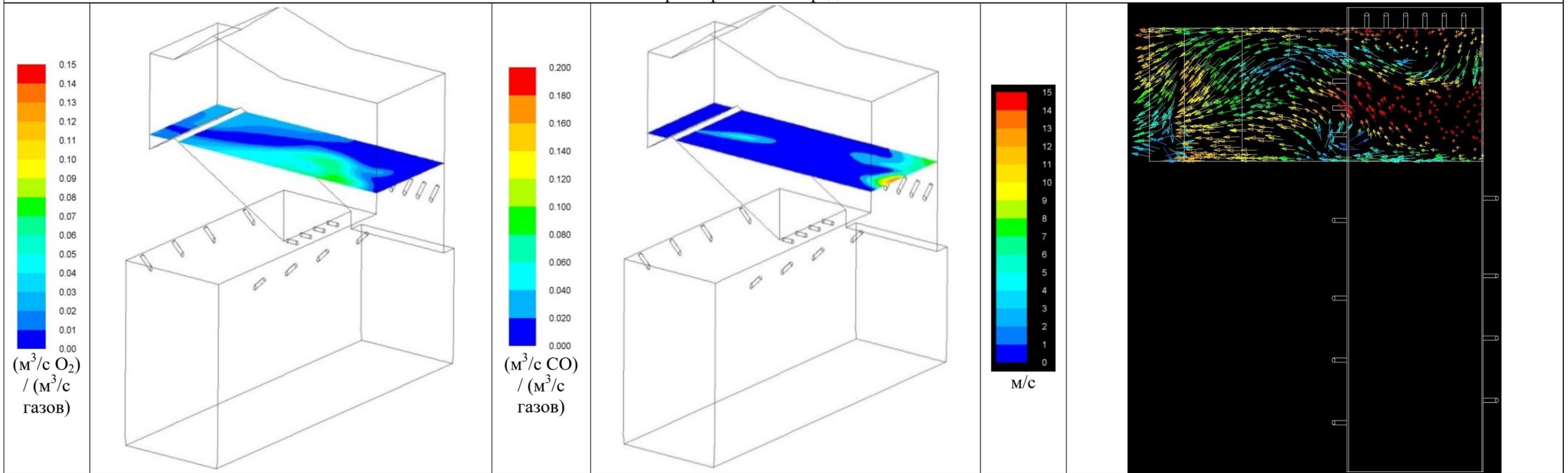


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.8. Параметры газовой среды на отметке $Z = 9$ м.

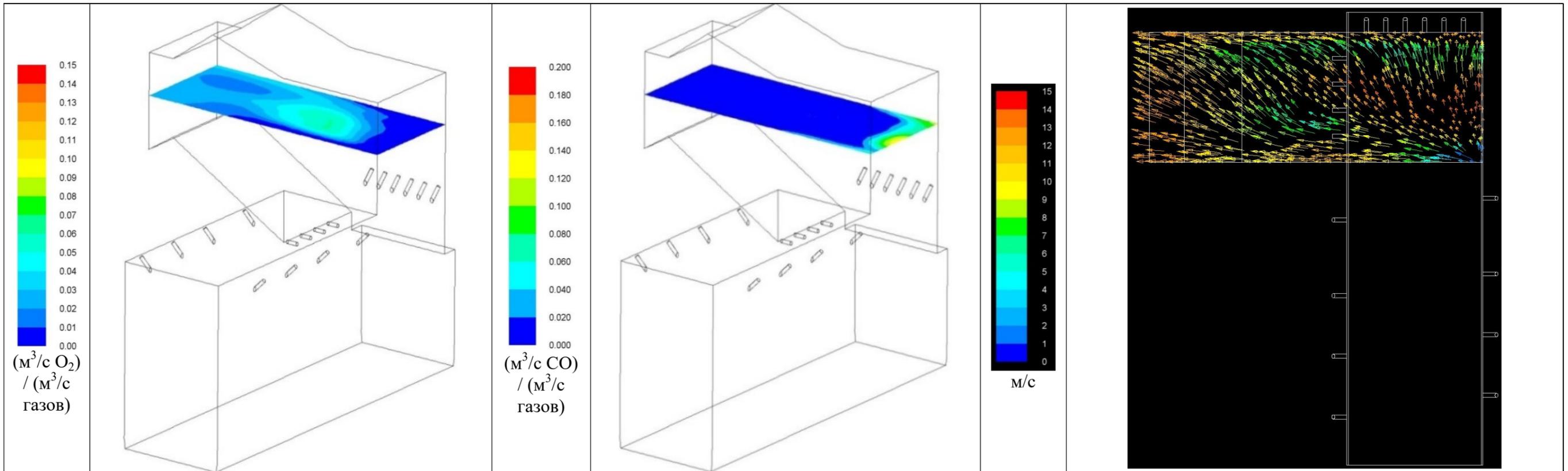


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.9. Параметры газовой среды на отметке $Z = 9,5$ м.

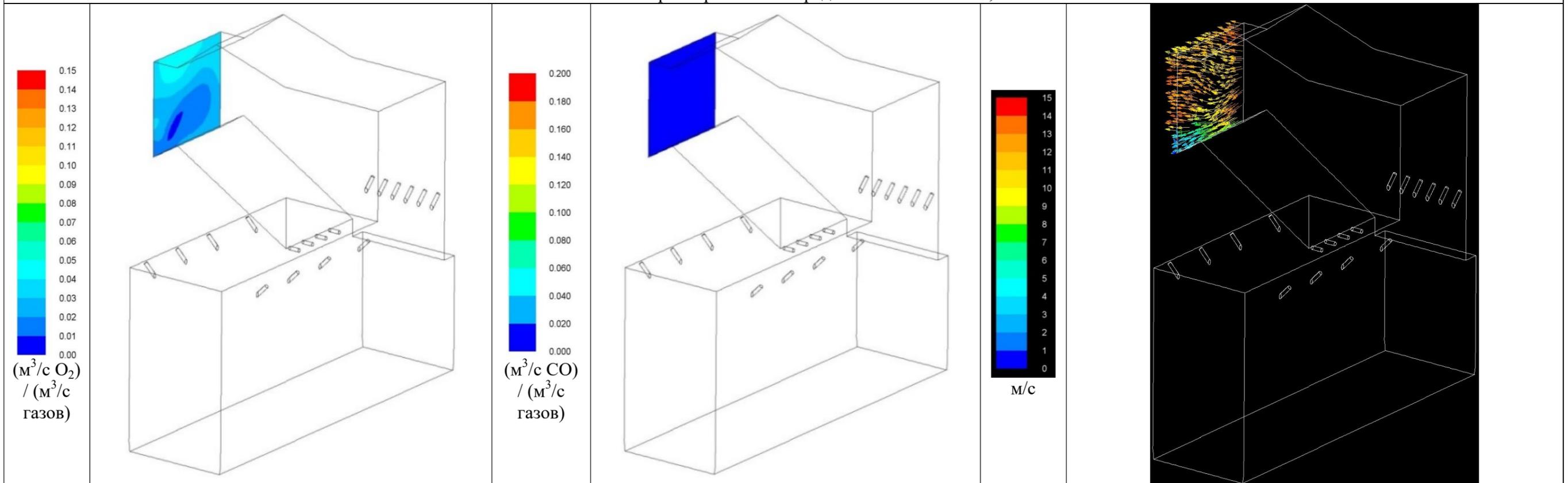


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.10. Параметры газовой среды на отметке Z = 10,5 м.

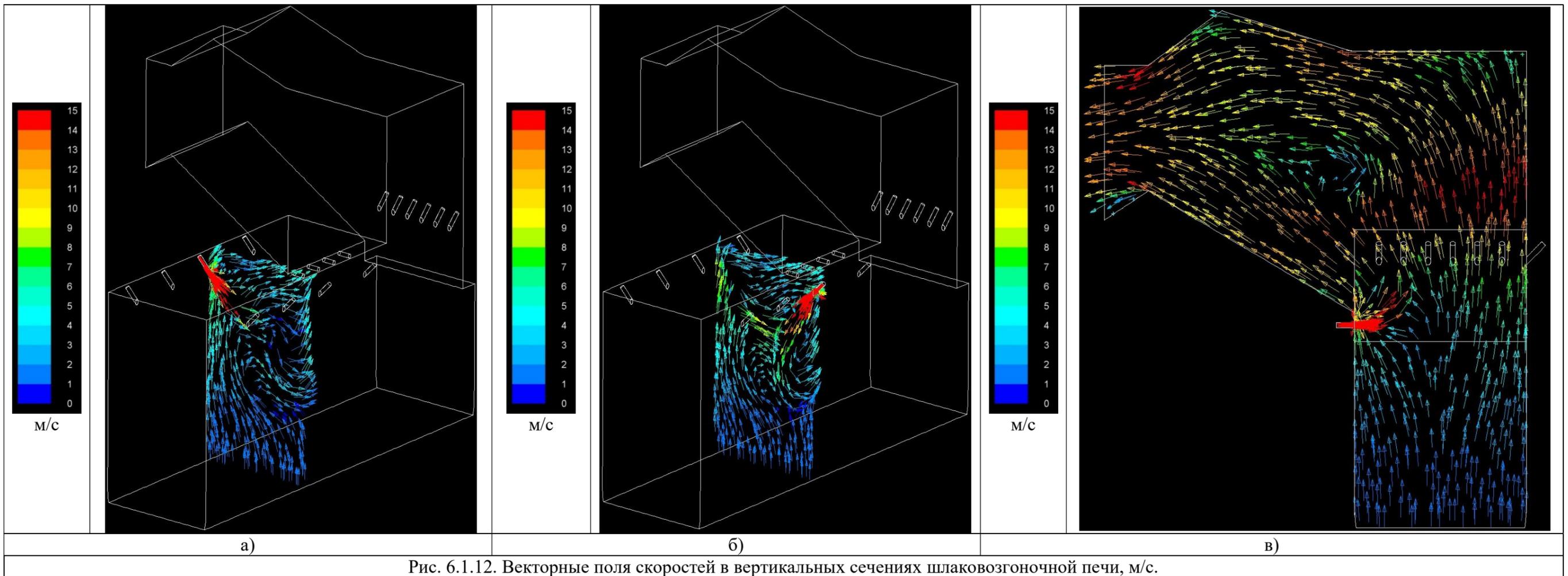


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.1.11. Параметры газовой среды на выходе из печи.



Для понимания изменения воздушного баланса печи (имеется ввиду подаваемый на дожигание воздух) разделим её условно на 2 зоны, представленные на рис. 6.1.13:

- Зона 1 – околостехиометрическая и окислительная область с изменением избытка воздуха по длине зоны (с западной стороны печи) от 1,6 до 0,8 (включает в себя зоны 1-4 на рис. 3.3, табл. 4.2). В зону 1 поступает воздух на дожигание из 8 сопел в количестве, указанном в таблице 6.1.1;
- Зона 2 – восстановительная зона с изменением избытка воздуха по длине зоны от 0,6 до 0,5 (включает в себя зоны 5-6 на рис. 3.3, табл. 4.2) . Поскольку в данной зоне наблюдается недостаток кислорода, количество подаваемого в эту зону воздуха увеличено по сравнению с вариантом 1 путём установки дополнительных сопел дожигания.

Сравнение долей и расходов третичного воздуха, поступающего через сопла в различные по содержанию кислорода зоны печи (рис. 6.1.13), представлены в таблице 6.1.1 для двух вариантов исполнения схемы подвода воздуха на дожигание.

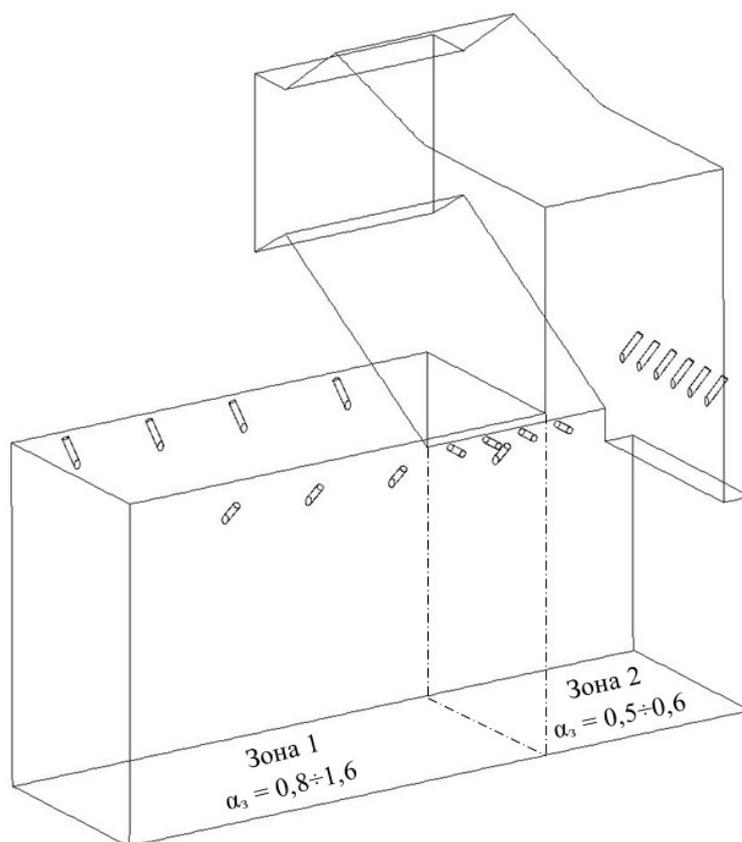


Рис. 6.1.13. Деление поверхности шлаковой ванны на условные две зоны с различным содержанием кислорода в них.

Как видно из представленных результатов предлагаемая схема расположения сопел третичного дутья (см. рис. 6.1.1) позволит эффективно дожечь СО даже при существующей неравномерности раздачи пыли по фурмам. Увеличение количества сопел с одновременным увеличением расхода воздуха на дожигание приводит к увеличению поступающего в зону 2 воздуха (см. таблицу 6.1.1), что способствует эффективному догоранию СО. Расход СО на выходе из шлаковозгоночной печи в данном варианте составил 0,003 кг/с (в исходном варианте №1 – 0,25 кг/с), т.е. уменьшен ~ в 80 раз.

Таблица 6.1.1.

| | | Вариант 1. Существующий вариант исполнения | Вариант 2. Предлагаемый вариант исполнения |
|--------|--|--|--|
| Зона 1 | Количество сопел | 8 | 8 |
| | Расход третичного воздуха, $\text{нм}^3/\text{с}$ | 2,389 | 1,741 |
| | Температура третичного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | 80 | 60 |
| | Доля третичного воздуха | 0,227 | 0,166 |
| | Скорость воздуха на выходе из сопла, м/с | ~85 | ~58 |
| Зона 2 | Количество сопел | 4 | 10 |
| | Расход третичного воздуха, $\text{нм}^3/\text{с}$ | 1,194 | 2,176 |
| | Температура третичного воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | 80 | 60 |
| | Доля третичного воздуха | 0,113 | 0,207 |
| | Скорость воздуха на выходе из сопла, м/с | ~85 | ~58 |

В зону 1 поступает меньшее количество воздуха, что также благоприятно влияет на происходящие в печи процессы. Во-первых, при существующей неравномерности распределения пыли этот воздух является избыточным в зоне 1 и не участвует в горении. Во-вторых, уменьшение расхода приводит к уменьшению скорости исходящего из сопел потока, что в свою очередь уменьшает дальность струй. Так, в варианте 1 по полям объёмной доли кислорода и векторным полям скоростей можно отметить, что струи третичного воздуха доходят до отметки печи $Z = 5$ м (рис. 4.2а, 4.11а,б). В варианте 2 отмечаем, что

струи третичного воздуха доходят лишь до отметки $Z = 6$ м (рис. 6.1.4а, 6.1.12а,б). При этом отметка поверхности шлаковой ванны (в данном случае вход в расчётную модель) принята на уровне $Z = 4,150$ м. Поскольку для эффективного процесса фьюмингования необходимо поддержание восстановительной среды как в шлаке, так и в заполненной каплями шлака зоне над ним, значит доходящие практически до поверхности шлаковой ванны струи третичного воздуха (как в варианте 1) будут ухудшать процесс возгонки паров металлов. В данном случае необходимо найти «золотую середину»: чтобы направленные к низу шлаковозгоночной печи струи третичного воздуха, с одной стороны, позволяли эффективно дожечь СО, а с другой, не понижали эффективность процесса фьюмингования.

В варианте 2 установленные горизонтально под нижней образующей выходного газохода дополнительные сопла третичного воздуха не имеют наклона к низу печи, соответственно, кислород не поступает в находящиеся ниже отметки установки сопел зоны и не влияет на происходящий в шлаке и над ним процесс фьюмингования (рис. 6.1.5а, 6.1.12в). При этом установленные таким образом сопла перекрывают выходное сечение печи (зона максимальной концентрации оксида углерода – рис. 6.1.5б), что способствует эффективному дожиганию СО (рис. 6.1.6б). Также сравнивая вертикальные поля скоростей в области выходного окна для вариантов 1 (рис. 4.11в) и 2 (рис. 6.1.12в) отмечаем, что установленные под нижней образующей отводящего газохода сопла третичного воздуха служат некой «воздушной завесой», способствуя сохранению восходящего движения газов вплоть до потолка печи. Такая аэродинамика процесса будет обеспечивать снижение выноса из барботажного слоя капель шлака в выходное окно и, как следствие, уменьшение шлакования нижней образующей отводящего газохода. Также уменьшению выноса шлаковых капель будет способствовать демонтаж сонаправленных выходящему потоку газов сопел, установленных на южной стороне печи (вариант 1, рис. 1.1). На восточной стороне печи (см. рис. 1.2) количество сопел в предлагаемом варианте исполнения подвода третичного воздуха увеличено с 2 до 6 (рис. 6.1.1, 6.1.13), что также направлено на перекрытие выходного сечения печи потоками воздуха и эффективное дожигание СО.

ВЫВОДЫ: В целом, анализируя поля объёмной доли кислорода, концентрации оксида углерода и векторные поля скоростей в сечениях по высоте

топочной камеры, можно сделать вывод, что предлагаемая схема подвода воздуха на дожигание даже при существующей неравномерной подачи пыли по фурмам позволит обеспечить:

- практически полное догорание СО к выходу из печи (рис. 6.1.11б);
- уменьшение выноса шлаковых капель в отводящий газоход;
- уменьшение шлакования нижней образующей отводящего газохода;
- наиболее оптимальное распределение третичного воздуха по зонам с точки зрения эффективности происходящего в печи процесса фьюмингования;
- лучшую по сравнению с вариантом 1 аэродинамику внутри шлаковозгонной печи (рис. 6.1.12а, б), которая заключается, во-первых, в уменьшении дальнобойности исходящих из сопел потоков воздуха, а во-вторых, в поддержании восходящего потока газов на выходе из печи;
- равномерное поле объёмной доли кислорода на выходе из печи (рис. 6.1.11а).

5.2. Модернизированная система пылеприготовления и модернизированная схема расположения сопел дожигания (Вариант 3).

Модернизация системы пылеприготовления заключается в сушке и помоле топлива в одной среднеходной мельнице (или двух молотковых мельницах специальной конструкции), сбросе сушильного агента в атмосферу, транспорте пыли к фурмам воздухом с повышением концентрации пыли в потоке аэросмеси с $\mu \sim 0,25$ до $\mu \sim 0,8$. В сопла дожигания при этом подается слабоподогретый воздух в отделеия воздуходувок. Расчётная модель, идентичная рассматриваемой в варианте 2, представлена на рис. 6.1.2. Исходные данные для расчёта представлены в таблице 6.2.1.

Таблица 6.2.1.

| Параметр | Обозначение | Знач. |
|---|---------------------------------|-------|
| Избыток воздуха на выходе из печи | α_T'' | 1,07 |
| Расход транспортирующего воздуха, $\text{нм}^3/\text{ч}$ | $Q_{\text{трансп.}}$ | 5000 |
| Температура транспортирующего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ | $t_{\text{трансп.}}$ | 60-90 |
| Доля транспортирующего воздуха (от BV_0^H) | $\Delta\alpha_{\text{трансп.}}$ | 0,13 |
| Расход вторичного воздуха, подаваемого под шлак, $\text{нм}^3/\text{ч}$ | $Q_{\text{в.шл.}}$ | 22000 |
| Температура воздуха, подаваемого под шлак, $^{\circ}\text{C}$ | $t_{\text{в.шл.}}$ | 350 |

| | | |
|---|---------------------------|-------|
| Доля воздуха, подаваемого под шлак (от BV_0^H) | $\Delta\alpha_{в.шл}$ | 0,58 |
| Расход третичного воздуха, подаваемого в сопла на дожигание, $нм^3/ч$ | $Q_{доп}$ | 13600 |
| Температура третичного воздуха, $^{\circ}C$ | $t_{тр}$ | 20-60 |
| Доля третичного воздуха (от BV_0^H) | $\Delta\alpha_{тр}$ | 0,36 |
| Эквивалентная доля воздуха от восстановления металлов | $\Delta\alpha_{экв}$ | 0,08 |
| Избыток воздуха на выходе из печи с учётом экв. воздуха | $\alpha_T''(\text{экв.})$ | 1,15 |

В данном расчете распределение угольной пыли по фурмам намеренно принято также с учетом эксплуатационной неравномерности (рис. 3.3 и табл. 4.2). Таким образом, в расчете учтено только изменение технологии приготовления и подачи угольной пыли, а также параметров вторичного воздуха, подаваемого под шлак и третичного воздуха, подаваемого на дожигание. Сохранение эксплуатационной неравномерности на входе для данного варианта принималось с целью проверки на устойчивость и отработки решения при наихудших условиях. Это позволит в случае непредвиденного изменения режимов работы печи и ухудшения раздачи пыли (вплоть до существующего состояния) ожидать хороших результатов на входе в КУ, а при равномерном распределении угольной пыли по фурмам значительно большей эффективности [7] и уменьшения количества воздуха, необходимого на дожигание (уточняется на этапе наладки с учетом требуемых режимных избытков воздуха на выходе из печи).

Результаты моделирования процессов, происходящих в верхней части шлаковозгонной печи, представлены на рис. 6.2.1-6.2.11.

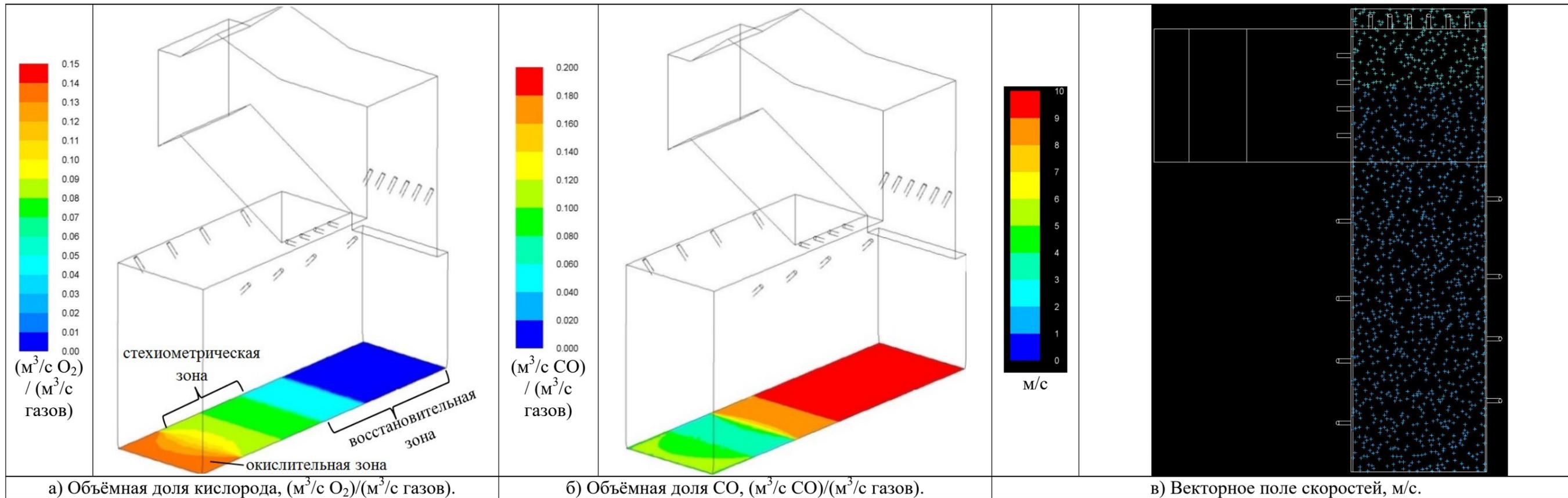


Рис. 6.2.1. Параметры газовой среды на входе в модель (отметка $Z = 4,150$ м).

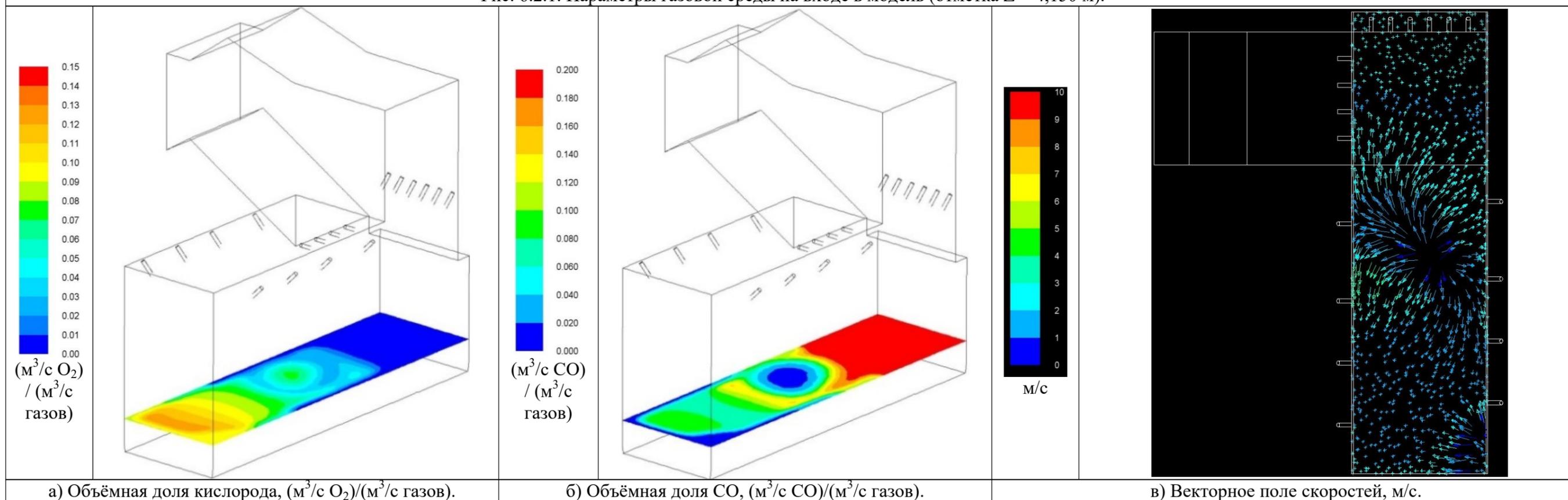
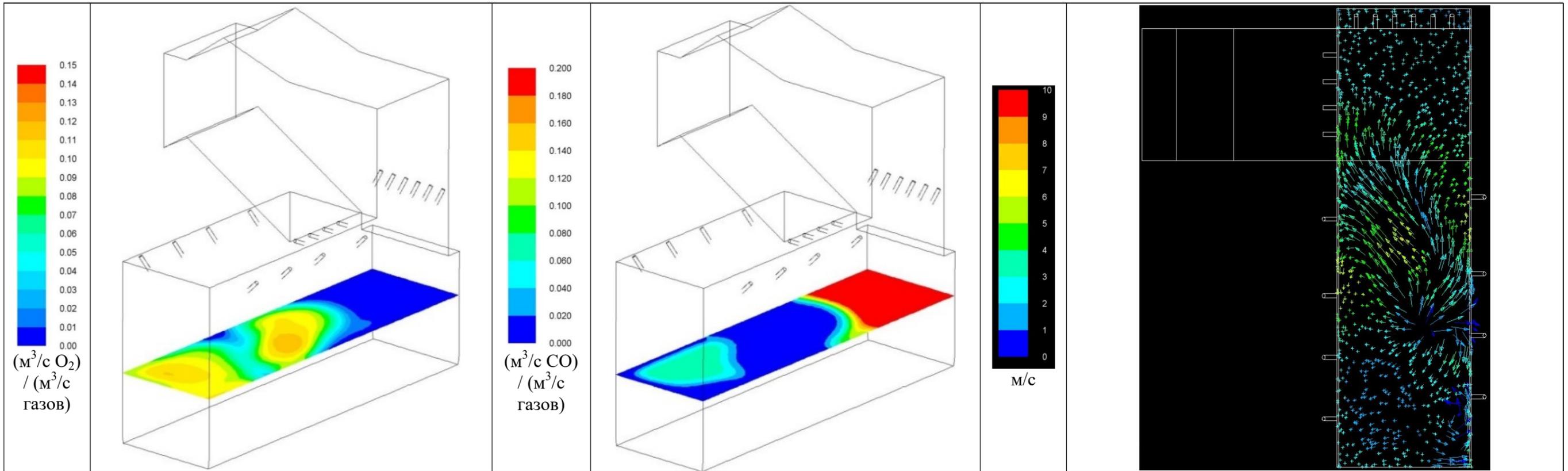


Рис. 6.2.2. Параметры газовой среды на отметке $Z = 5$ м.

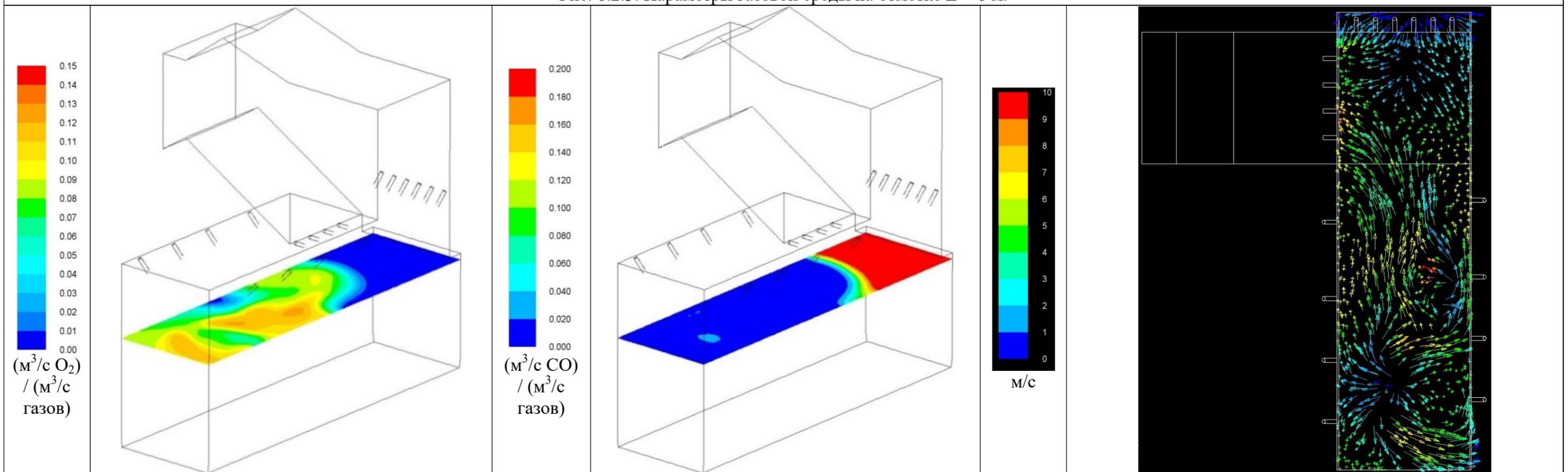


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.2.3. Параметры газовой среды на отметке $Z = 6$ м.



а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.2.4. Параметры газовой среды на отметке $Z = 7$ м.

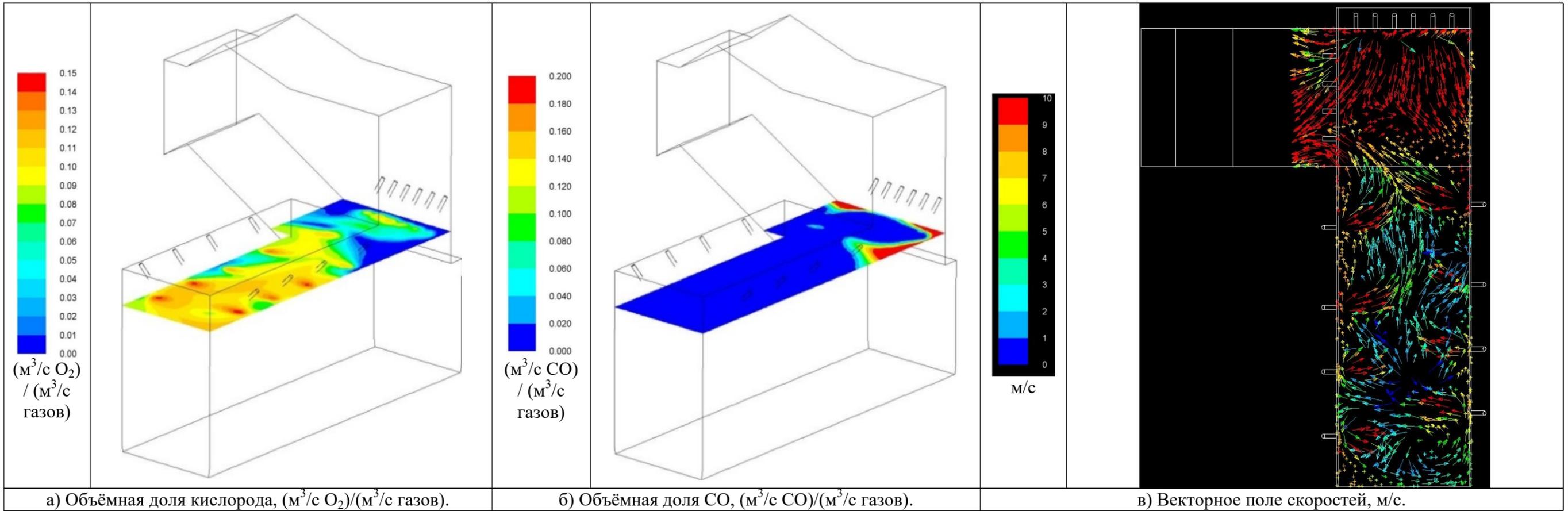


Рис. 6.2.5. Параметры газовой среды на отметке $Z = 8$ м.

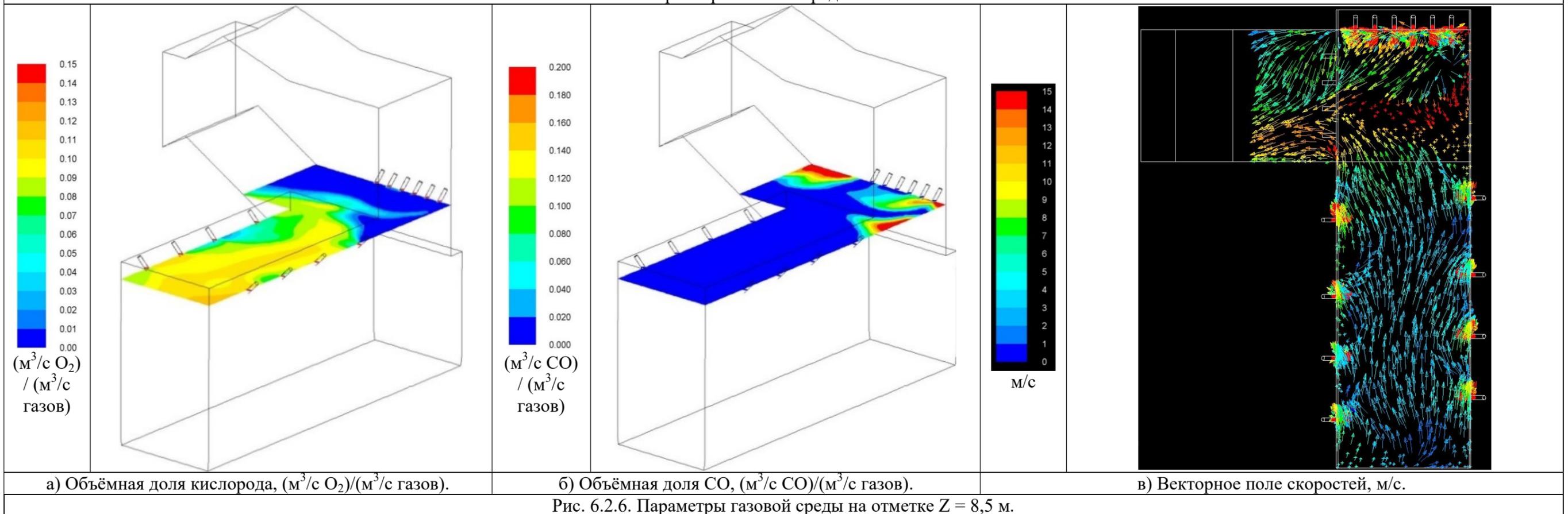
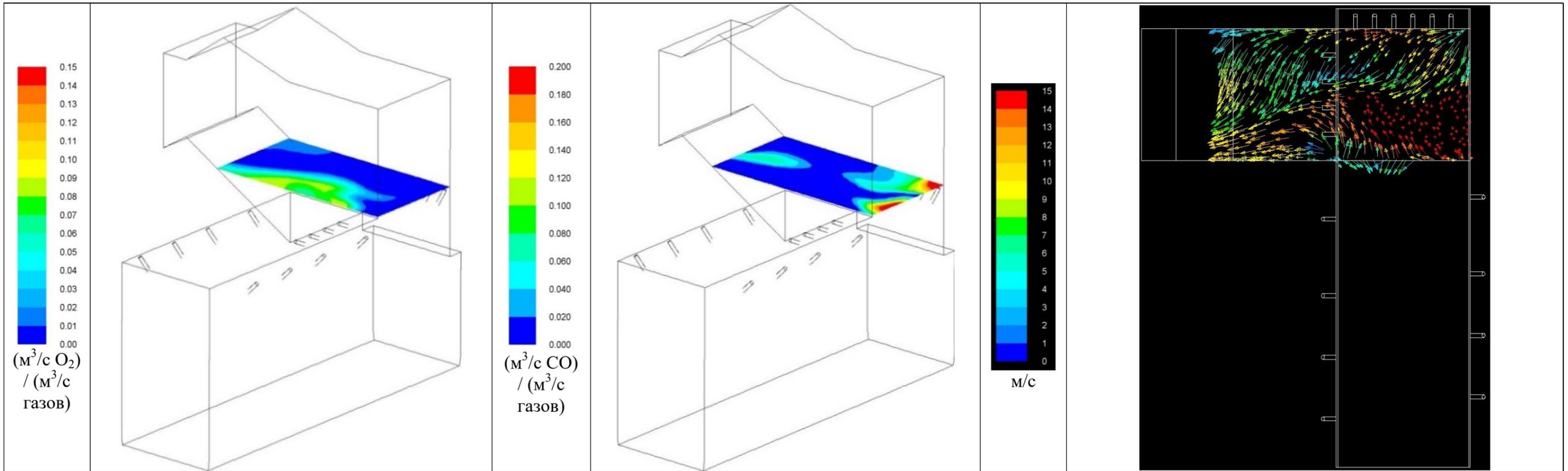


Рис. 6.2.6. Параметры газовой среды на отметке $Z = 8,5$ м.

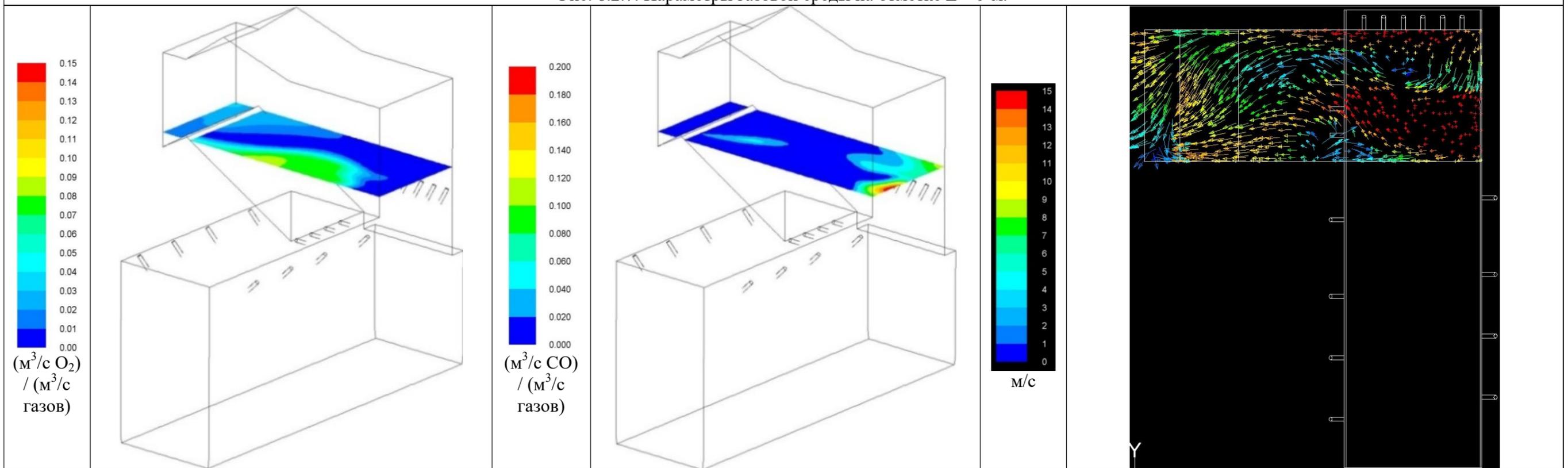


а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.2.7. Параметры газовой среды на отметке $Z = 9$ м.



а) Объёмная доля кислорода, $(\text{м}^3/\text{с O}_2)/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

б) Объёмная доля CO, $(\text{м}^3/\text{с CO})/(\text{м}^3/\text{с газов})$.

в) Векторное поле скоростей, м/с.

Рис. 6.2.8. Параметры газовой среды на отметке $Z = 9,5$ м.

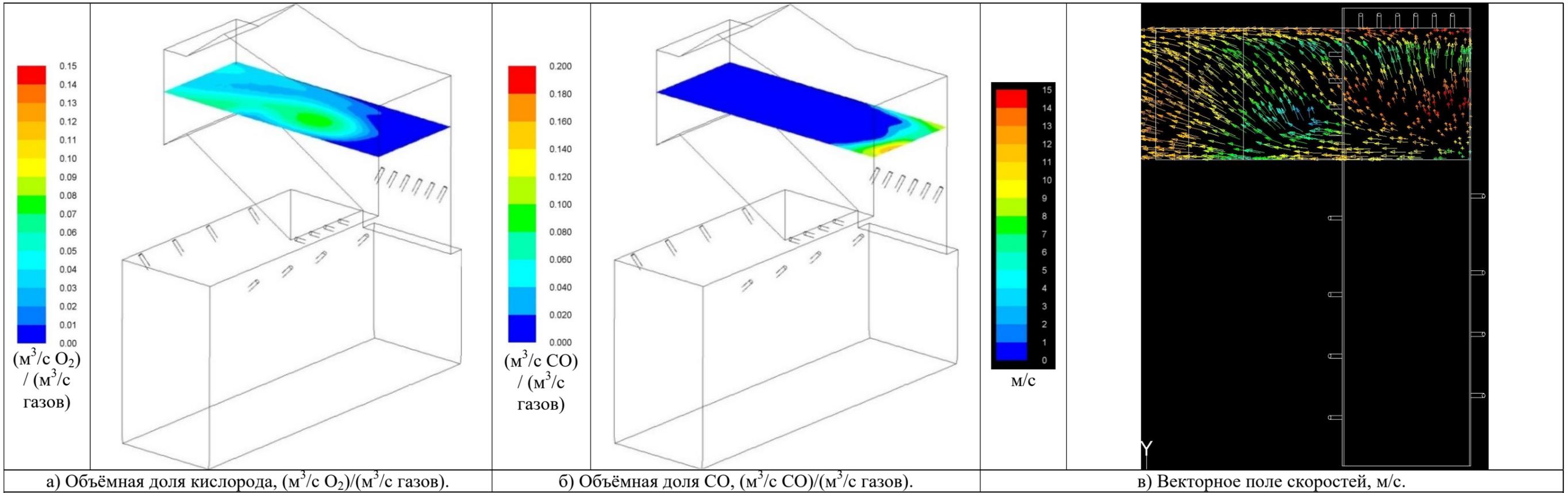


Рис. 6.2.9. Параметры газовой среды на отметке $Z = 10,5$ м.

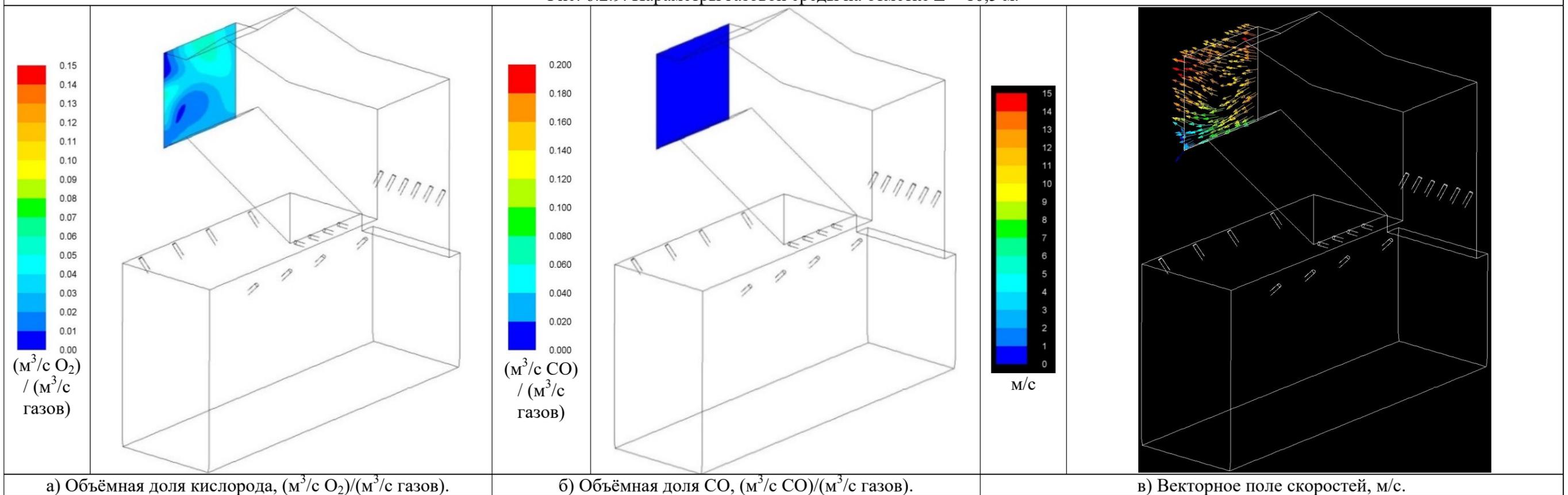


Рис. 6.2.10. Параметры газовой среды на выходе из печи.

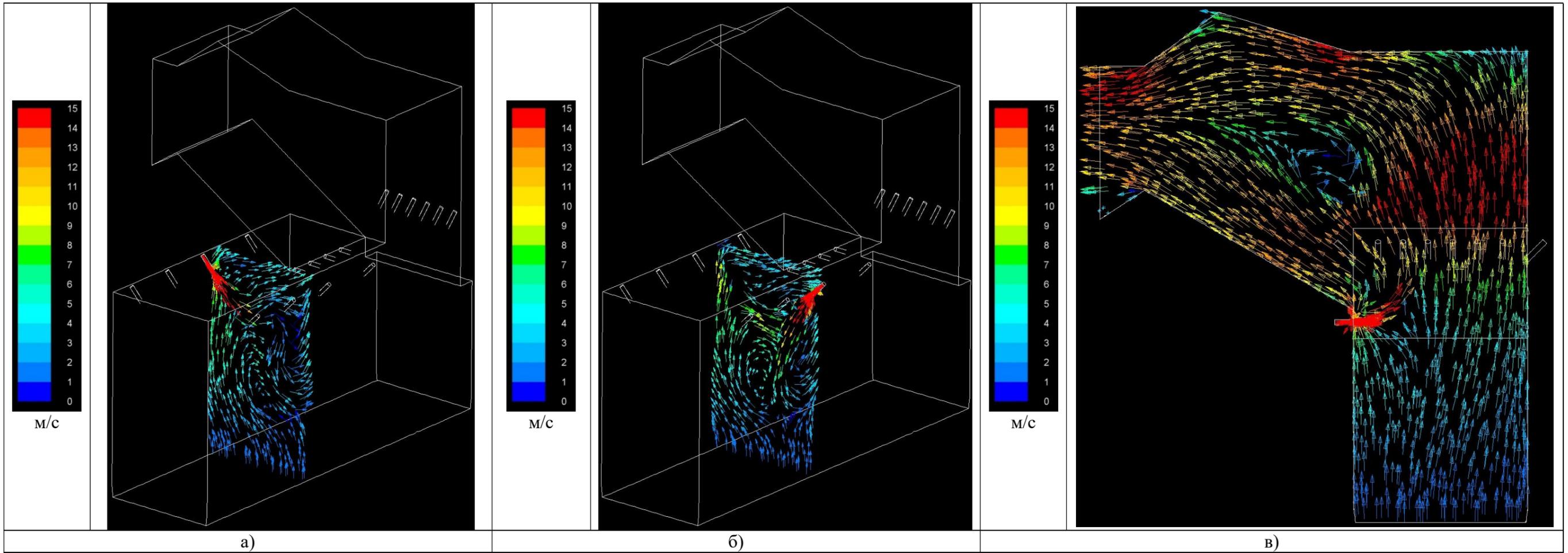


Рис. 6.2.11. Векторные поля скоростей в вертикальных сечениях шлаковозгоночной печи, м/с.

В расчёте приняты избытки воздуха в шлаке и на выходе из печи такие же, как и в варианте 2. Анализируя результаты расчёта в виде полей объёмной доли кислорода, концентрации оксида углерода и векторных полей скоростей можно отметить, что происходящие в печи процессы дожигания аналогичны варианту работы печи с существующей системой пылеприготовления (см. вариант 2). Так, расход СО на выходе из шлаковозгоночной печи в данном варианте составил 0,003 кг/с (как и в варианте №2 – 0,003 кг/с), т.е. при переходе на работу печи с новой системой пылеприготовления предлагаемая компоновка сопл третичного дутья также эффективна в вопросе дожигания СО и доокисления возгонов.

Во время эксплуатации при отсутствии по данным непрерывного газового анализа проскока СО на выходе из печи (как получено при математическом моделировании данного варианта) возможно будет произвести уменьшение подачи воздуха на дожигание и работу печи на более низком избытке воздуха.

Также проектом модернизации зоны дожигания целесообразно предусмотреть возможность регулирования и перераспределения воздуха по соплам третичного воздуха.

Эскизно-компоновочные чертежи, а также распределение воздуха по системе дожигания приведено в Приложении 1.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЕДЕНИЮ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ДОЖИГАНИЯ

В Приложении 1 приведены эскизно-компоновочные чертежи новой системы дожигания ШВУ. Компоновка воздухопроводов условно разбита на 4 трассы:

- Трасса №1, ведущая к 6 соплам восточной стороны;
- Трасса №2, ведущая к 4 соплам, расположенным под переходным газоходом печи;
- Трасса №3, ведущая к 4 соплам южной стороны;
- Трасса №4, ведущая к 4 соплам северной стороны.

При рабочем проектировании необходимо предусмотреть возможность регулирования расходов воздуха, поступающих по разным трассам, путем установки специальных клапанов.

Расчетные режимы моделирования новой системы дожигания проводились на общий расход воздуха 14100 нм³/ч (таблица 7.1).

Таблица 7.1.
Распределение воздуха в системе дожигания $V=14100$ нм³/ч

| № трассы | Ед. изм. | Общий расход воздуха | Количество сопл | Расход воздуха |
|-----------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| Трасса №1 | нм ³ /ч | ~14100 | 6 | 4700 |
| Трасса №2 | нм ³ /ч | | 4 | 3130 |
| Трасса №3 | нм ³ /ч | | 4 | 3130 |
| Трасса №4 | нм ³ /ч | | 4 | 3130 |

В ходе выполнения работ Заказчиком был ограничен максимально возможный расход воздуха на дожигание в пределах 10000-12000 нм³/ч (после принятия решения подавать на дожигание остаточный воздух с турбокомпрессоров). Предварительное распределение воздуха по трассам системы дожигания для данного расхода приведено в таблице 7.2.

Таблица 7.2.
Распределение воздуха в системе дожигания $V=10000-12000$ нм³/ч

| № трассы | Ед. изм. | Общий расход воздуха | Количество сопл | Расход воздуха |
|-----------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| Трасса №1 | нм ³ /ч | ~10000-12000 | 6 | 3300-4000 |
| Трасса №2 | нм ³ /ч | | 4 | 2200-2700 |
| Трасса №3 | нм ³ /ч | | 4 | 2200-2700 |

| | | | | |
|-----------|--------------------|--|---|-----------|
| Трасса №4 | нм ³ /ч | | 4 | 2200-2700 |
|-----------|--------------------|--|---|-----------|

Необходимо отметить, что такое уменьшение расхода и, соответственно, уменьшение общего избытка воздуха на выходе из печи относительно расчетного $\alpha_{швп}'' = 1,07$ может привести к ухудшению выгорания СО и доокисления возгонов Zn, а соответственно более интенсивному шлакованию КУ (в процессе эксплуатации определяется повышением производительности аппаратов очистки). В таких случаях рекомендуется перераспределить расход воздуха по трассам системы дожигания в соответствии с табл.7.3. Перераспределение осуществляется регулирующими клапанами. Приведенные рекомендации уточняются на этапе пуско-наладочных работ.

Таблица 7.3.

Рекомендации по перераспределению воздуха в системе дожигания $V=10000-12000$ нм³/ч при увеличении эксплуатационного «проскока СО и SO₂», а также интенсификации образования отложений в КУ

| № трассы | Ед. изм. | Общий расход воздуха | Количество сопел | Расход воздуха |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------|----------------|
| Трасса №1 | нм ³ /ч | ~10000-12000 | 6 | 4000-4800 |
| Трасса №2 | нм ³ /ч | | 4 | 2600-3200 |
| Трасса №3 | нм ³ /ч | | 4 | 1700-2000 |
| Трасса №4 | нм ³ /ч | | 4 | 1700-2000 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана численная модель расчёта аэродинамики и процессов дожигания СО для печи ШВУ. Данная модель корректно описывает фактические процессы в печи, что в целом подтверждается характеристиками работы КУ и результатами инструментальных замеров [6].

2. Численное моделирование существующей печи ШВУ показало детальную картину происходящих внутри печи процессов. В качестве результатов моделирования представлены векторные поля скоростей газоздушных потоков и поля концентрации СО и О₂. Выявлены зоны проскока СО и зоны с избытком и недостатком кислорода.

3. На основе анализа результатов моделирования существующей зоны дожигания, предложена новая схема расположения сопел дожигания, а также сопел под переходным газоходом, которые наряду с дожиганием, выполняют роль

«воздушной завесы», снижая количество капель шлака, попадающее из печи ШВУ в переходной газоход и радиационную камеру КУ. Это позволит снизить интенсивность шлакования нижней части переходного газохода к КУ, улучшит условия очистки ширмовых и экранных поверхностей.

4. Численное моделирование по новой схеме расположения сопел дожигания позволяет прогнозировать снижение суммарного содержания СО на входе в КУ в 80 раз (при реализации этой схемы) по сравнению с существующим положением.

5. Выполнено численное моделирование печи ШВУ по новой схеме пылеприготовления, заключающейся в сушке топлива в одной мельнице фирмы Loesche. Предлагаемая схема подвода воздуха на дожигание (см. рис. 6.1 и рис. 6.1.2, Приложение 1) совместно с новой разомкнутой системой пылеприготовления позволяют обеспечить полное догорание СО и ускорить процесс окисления возгонов металлов до окислов. В этом случае может быть реализована возможность регулирования распределения воздуха по фурмам на основе данных непрерывного газового анализа. Может быть сокращён расход воздуха на дожигание и увеличение подачи нагретого вторичного воздуха под шлак, с целью интенсификации фьюмингования.

6. В данном отчёте рассмотрен режим работы печи при эксплуатационной неравномерности распределения пыли по фурмам. Предлагаемые технические решения по модернизации коллектора пыли позволят получить близкие по избыткам воздуха зоны в шлаковом расплаве, что обеспечит ещё более эффективное фьюмингование шлаков, равномерное поле концентрации оксида углерода над поверхностью шлаковой ванны.

7. Технические решения по очистке переходного газохода и КУ описаны в отдельных отчётах и конструкторской документации.