

Влияние схемы организации воздухообмена в помещении на эффективность вытяжного зонта

В.А. Пухкал, В.Б. Панков

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет*

Аннотация: Целью исследования является оценка влияния схемы подачи приточного воздуха в помещение на эффективность местных вытяжных устройств. Для исследования приняты отсосы открытого типа (зонты), применяемые в различных технологических процессах в промышленности.

Рассмотрено помещение с примыкающей камерой для термообработки мясной продукции в пищевой промышленности, оборудованной зонтом у открытого проёма. Исследованы два варианта размещения приточных устройств (подача воздуха в центральную зону помещения и подача воздуха в боковые зоны помещения).

Разработаны геометрические модели, включающие камеру термообработки, помещение, из которого осуществляется загрузка камеры, вытяжной зонт над дверью из камеры в помещение, приточный воздуховод с воздухораздающими устройствами.

Представлены результаты вычислительного эксперимента по моделированию работы системы местной вытяжной вентиляции камеры термообработки.

Установлено, что при размещении приточных устройств по краям помещения воздухообмен может быть снижен на 28% при обеспечении удаления газовой смеси камеры без прорыва в помещение.

Ключевые слова: местная вытяжная вентиляция, вытяжной зонт, моделирование, камера термообработки, численный эксперимент.

Введение

Под организацией воздухообмена понимают взаимное расположение в помещении мест подачи и удаления вентиляционного воздуха в зависимости от расположения источников вредных выделений и рабочих мест [1]. По месту подачи приточного и удаления вытяжного воздуха различают схемы организации воздухообмена общеобменных систем вентиляции: снизу - вверх; сверху - вниз; сверху - вверх; смешанные. Схема организации воздухообмена влияет на величину воздухообмена и на конструкцию вытяжных и приточных устройств.

В обобщающих статьях [2, 3] рассматриваются характеристики местных вытяжных устройств с целью оптимизации воздухообмена. Описаны основные отечественные исследования местных вытяжных

устройств различных типов и приведены значения коэффициента улавливания (равнозначное понятие - эффективность улавливания вредности). На основании выполненного анализа основных публикаций, описывающих эффективность разных типов местных отсосов, показано, что эффективность зависит от конструктивных, аэродинамических и режимных параметров. В промышленной вентиляции наиболее широко применяются местные отсосы открытого типа (зонты, боковые, бортовые, кольцевые отсосы и др.). Для эффективного улавливания вредностей необходимо увеличивать расходы удаляемого воздуха, поэтому такие устройства характеризуются значительными капитальными затратами и потреблением электроэнергии при эксплуатации [4-6].

В работах [7, 8] указаны причины превышения предельно-допустимых концентраций вредных веществ на рабочих местах и в рабочих зонах: несовершенство конструкции вентиляционных систем и их элементов; нарушение технологических режимов их эксплуатации; неоптимальные рабочие параметры процесса улавливания загрязняющих веществ. Поэтому одним из направлений совершенствования характеристик местных вытяжных устройств может быть учёт влияния схемы подачи воздуха на эффективность местных вытяжных устройств.

Для исследования приняты отсосы открытого типа - укрытия, находящиеся за пределами источника вредных выделений, т.е. над ним или сбоку от него, в частности, зонты.

Методы и принципы исследования

В данном исследовании рассмотрена работа местных вытяжных устройств от проёма камеры UKM Classic M 2005 фирмы «Mauting», предназначенной для термообработки мясной продукции в пищевой промышленности [9].

По данным производителя камеры приняты характеристики [9]:

- проём камеры шириной $a=1,87$ м, высотой $b=2,30$ м, площадь проёма $F=4,3$ м², длина камеры 5,3 м;

- высота крепления зонта от оси проёма камеры - $H=1,15$ м.

- температура газовой смеси внутри камеры - $t_r=60$ °С;

- температура воздуха в помещении - $t_n=18$ °С.

Участок помещения, в которое выходит проём камеры, представляет собой рабочую зону, относящуюся к данной камере термообработки. Размеры участка: высота - 4,6 м, длина - 3,87 м, ширина - 4 м.

В программе SolidWorks были созданы два варианта моделей камеры термообработки с вытяжным и приточным устройствами, и примыкающим к камере участком помещения (рисунок 1):

- модель с вытяжным зонтом над проёмом камеры и притоком, организованным в центральную зону помещения (вариант 1);

- модель с вытяжным зонтом над проёмом камеры и притоком, организованным в боковые зоны помещения (вариант 2).

В качестве устройства местной вентиляции используется вытяжной зонт (шириной 0,8 м, длиной 1,87 м, с вытяжным воздуховодом диаметром 400 мм), примыкающий к верхней границе проёма камеры.

Для компенсации вытяжки в помещение осуществляется приток воздуха через приточный воздуховод, расположенный на высоте 3,75 м:

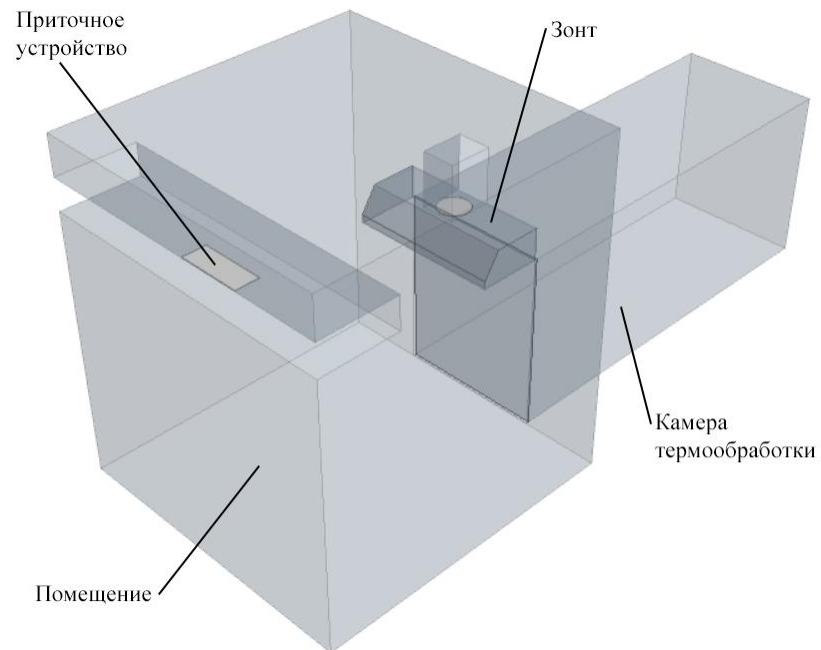
- вариант 1 - с отверстием 800×300 мм, расположенным по центру помещения;

- вариант 2 - с двумя отверстиями 400×300 мм, расположенными по краям помещения.

Вытяжка через зонт полностью компенсирована притоком.

В качестве расчетной программы используется программный пакет STAR-CCM+.

а) вариант 1



б) вариант 2

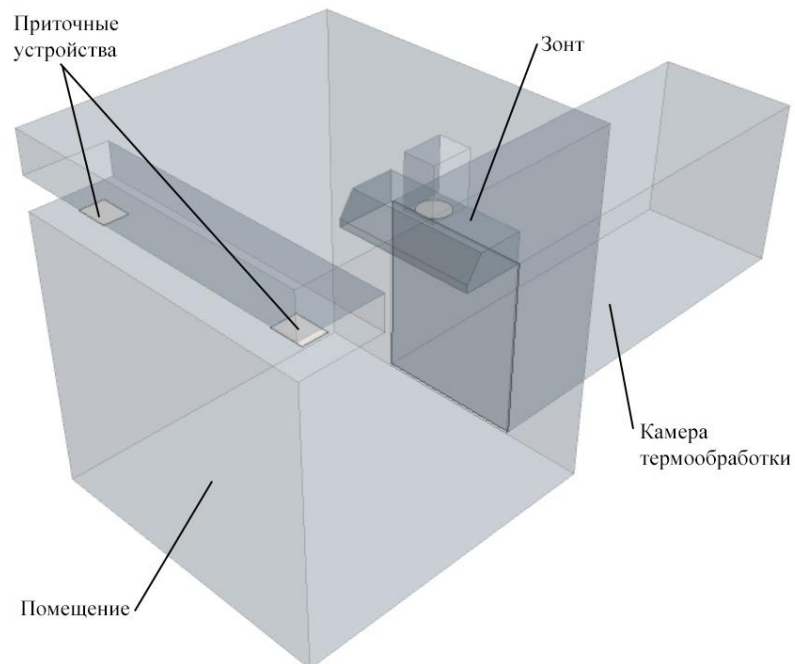


Рис. 1 – Геометрические модели камеры термообработки, оборудованной
ВЫТЯЖНЫМ ЗОНТОМ

Моделирование процесса работы местной вытяжной вентиляции от
камеры термообработки разбито на 2 этапа:

- первый этап - моделирование работы приточно-вытяжной вентиляции на участке помещения при закрытой двери в камеру термообработки; производится до установления стационарного режима в помещении; данный этап является промежуточным перед основным;

- второй этап (основной) - моделирование работы местного отсоса от проёма камеры; начинается после окончания первого этапа одновременно с открытием двери в камеру термообработки и объединения объёмов помещения и камеры; продолжается до удаления теплогазовыделений, вырывающихся через проём камеры в помещение.

В модели приняты следующие допущения:

- на поверхностях ограждающих конструкций, камеры термообработки, приточного воздуховода и зонта приняты адиабатические условия;

- из газового состава камеры исключены компоненты с незначительной концентрацией и приняты следующие массовые доли компонентов смеси: водяной пар 1,01 %, сухой воздух 98,79 %, угарный газ (CO) 0,01 %, углекислый газ (CO₂) 0,19 %;

- газовая смесь принята как идеальный несжимаемый газ, компоненты смеси не вступают в химические реакции.

При численном моделировании использованы уравнения движения (Навье-Стокса), уравнение сплошности и уравнение переноса теплоты [10, 11]. Для учёта турбулентного характера движения среды использована k-ε-модель турбулентности. Метод расчёта принят нестационарный неявный.

Численный эксперимент предусматривает контроль температуры и скорости движения воздуха. На втором этапе после открытия двери в камеру термообработки, предусматривается контроль скоростей движения воздуха и температур газовой смеси в объёме модели. Контроль осуществляется

с помощью отображаемых в реальном времени полей скоростей и температур в характерных сечениях модели, показанных на рисунке 2.

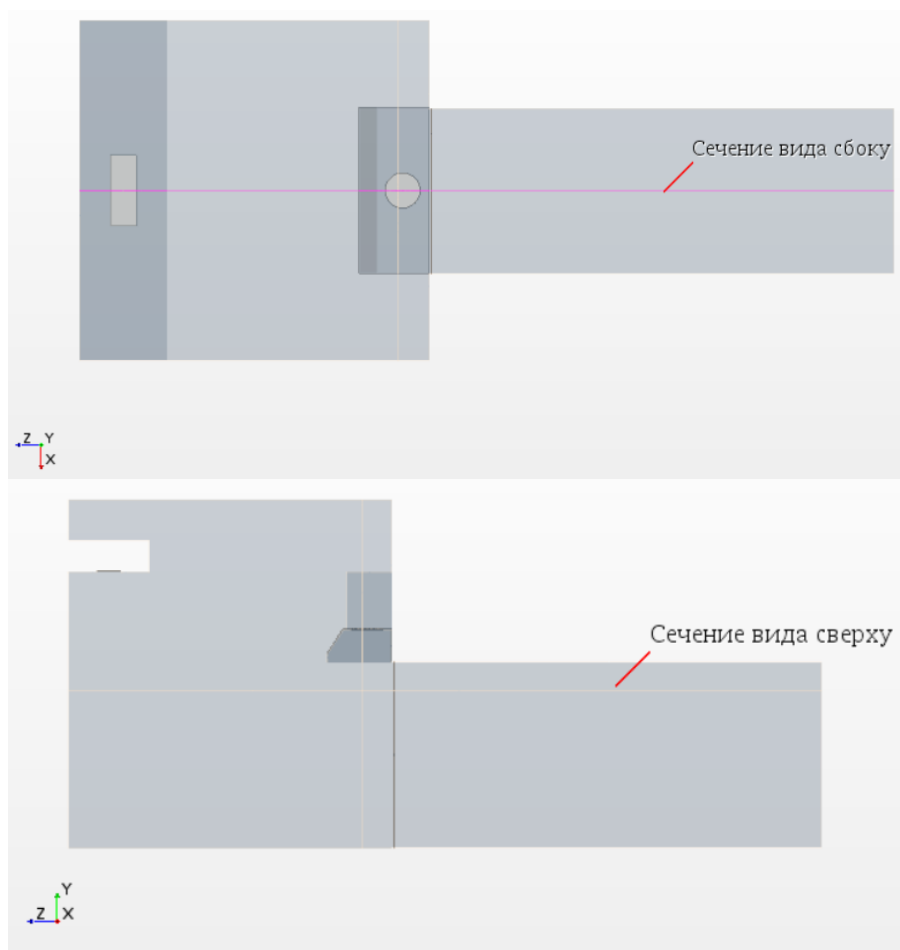


Рис. 2 – Характерные сечения модели

Поля скоростей и температур в необходимом и достаточном объёме отображают информацию, позволяющую оценить эффективность работы местного вытяжного устройства.

Основные результаты

Вариант 1.

Выполнены расчёты модели с приточным устройством, расположенным в центре обслуживаемого помещения, при расходах воздуха,

удаляемого вытяжным зонтом: 3800, 5400, 7500 м³/ч. Результаты расчёта полей температуры спустя 10, 20, 30 и 55 секунд после открытия камеры при расходе воздуха, удаляемого вытяжным зонтом - 7500 м³/ч, представлены на рисунке 3.

Через 10 секунд после открытия двери камеры в помещение происходит выход газовой смеси из камеры термообработки через открытый проём в его верхней зоне. Формируется прорыв газовой смеси через зонт.

Аналогично протекает процесс спустя 20 секунд после открытия двери камеры термообработки. Количество прорвавшегося в помещение воздуха камеры значительно меньше, чем в экспериментах при расходах удаляемого воздуха 3800 и 5400 м³/ч.

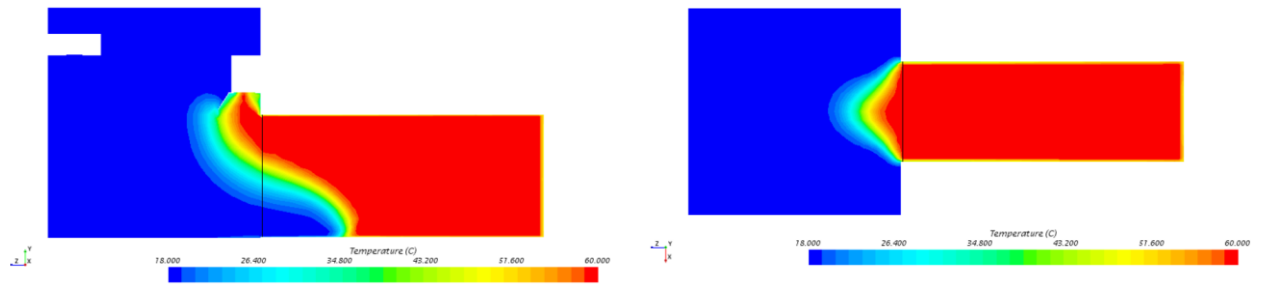
Из-за большей скорости газовой смеси, прорыв получил большее распространение в глубину помещения, но при этом значительно меньшее по объёму в целом. Значительно ниже температура газов в пространстве помещения (усредненно 22 °С, по сравнению с 50 °С при расходе 3800 м³/ч и 32 °С при расходе 5400 м³/ч).

Спустя 30 секунд после открытия двери камеры термообработки прорыв горячего воздуха не приобретает устойчивого характера. Происходит его разбавление воздухом помещения.

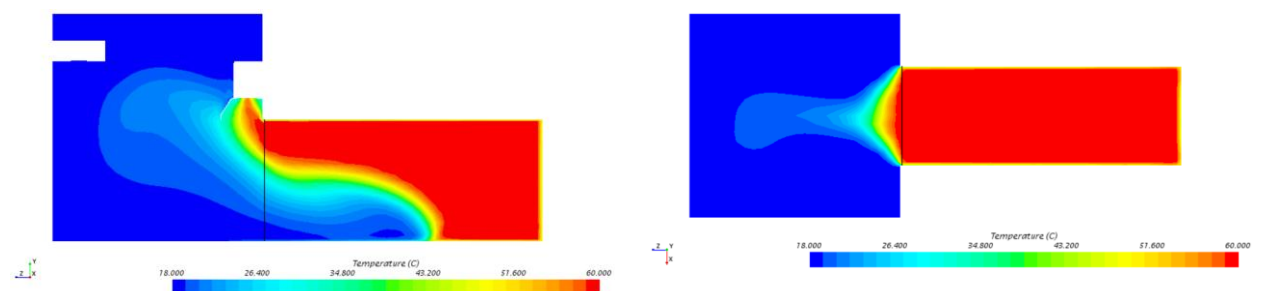
Через 55 секунд после открытия двери камеры термообработки прорыв горячего воздуха не получает дальнейшего распространения в объёме помещения, более того, происходит его незначительное затягивание в вытяжной зонт.

Через 75 секунд после открытия двери камеры процесс удаления горячего воздуха из камеры завершается (рисунок 4). Присутствуют незначительные объёмы газовой смеси в верхней зоне камеры у вытяжного зонта.

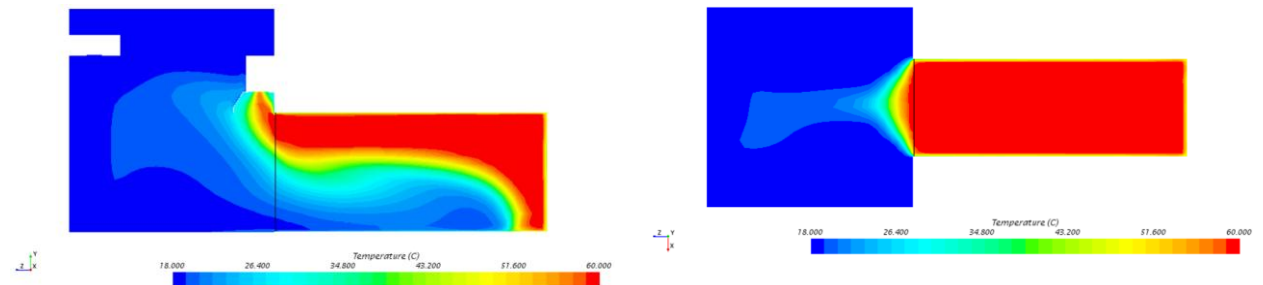
10 секунд после открытия



20 секунд после открытия



30 секунд после открытия



55 секунд после открытия

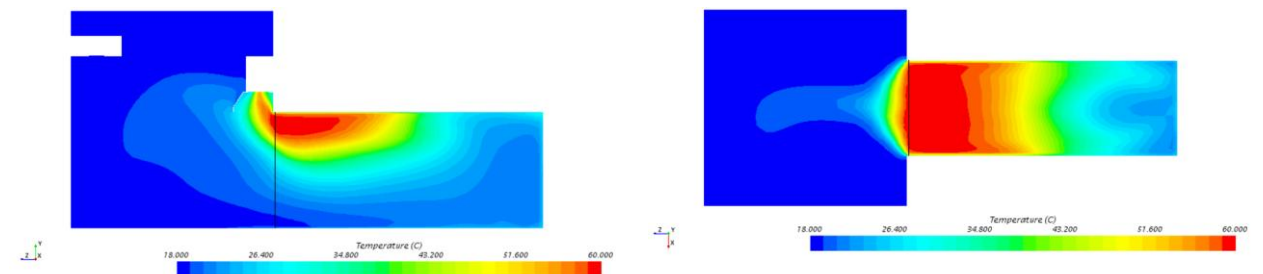
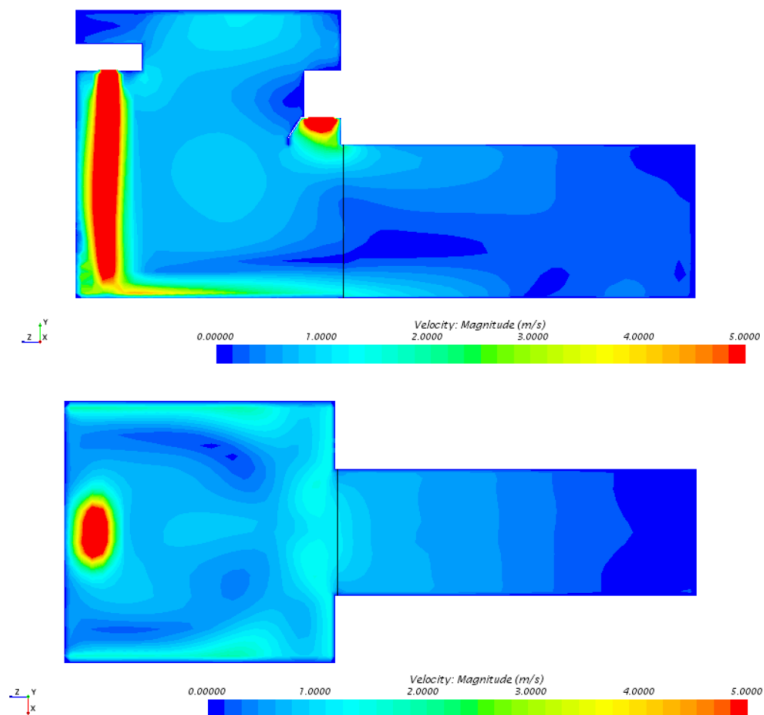


Рис. 3 – Поля температур в характерных сечениях модели после открытия двери в камеру (вариант 1; расход удаляемого воздуха 7500 м³/ч)

а) поля скоростей



б) поля температур

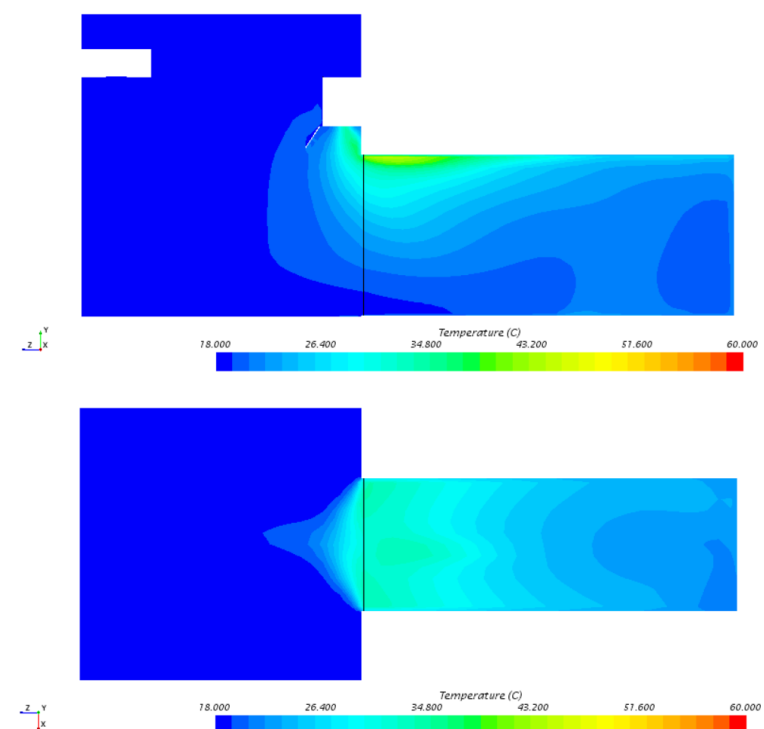


Рис. 4 – Поля скоростей и температур в характерных сечениях модели через 75 секунд после открытия двери в камеру (вариант 1; расход удаляемого воздуха 7500 м³/ч)

Вариант 2.

Выполнены расчёты модели с приточными устройствами, расположенными по краям обслуживаемого помещения, при расходах воздуха, удаляемого вытяжным зонтом – 3800 и 5400 м³/ч. На рисунке 5 представлены результаты расчета для наиболее эффективного варианта при расходе удаляемого воздуха 5400 м³/ч.

При расходе удаляемого воздуха 5400 м³/ч через 10 секунд после открытия двери камеры в помещение происходит выход газовой смеси из камеры термообработки через открытый проём в его верхней зоне. Прорыва горячего воздуха через край вытяжного зонта не происходит.

Спустя 20, 30 и 55 секунд наблюдается незначительный переток в помещение пограничного слоя воздуха с границы газовых сред между помещением и камерой. Данный переток представляет собой смесь горячей газовой смеси камеры и холодного воздуха помещения, со значительным преобладанием последнего. Температура данного потока не превышает 20 °С. Непосредственно газовая смесь камеры полностью удаляется вытяжным зонтом. Прорыва горячей газовой смеси камеры термообработки через край вытяжного зонта не наблюдается.

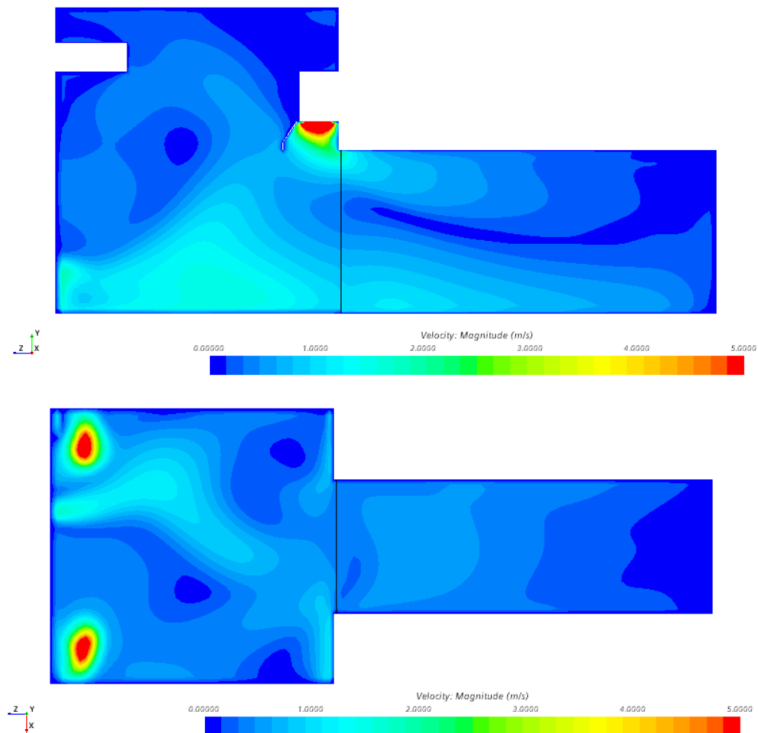
Через 75 секунд после открытия двери камеры в помещение удаление газовой смеси из камеры термообработки завершается (рисунок 5).

Заключение

Установлено влияние схемы организации воздухообмена (мест размещения приточных устройств) в помещении на эффективность местных вытяжных устройств (зонта).

Исследованы два варианта размещения приточных устройств (одно - по центру помещения и два - по краям помещения) для помещения камеры термообработки мясной продукции в пищевой промышленности.

а) поля скоростей



б) поля температур

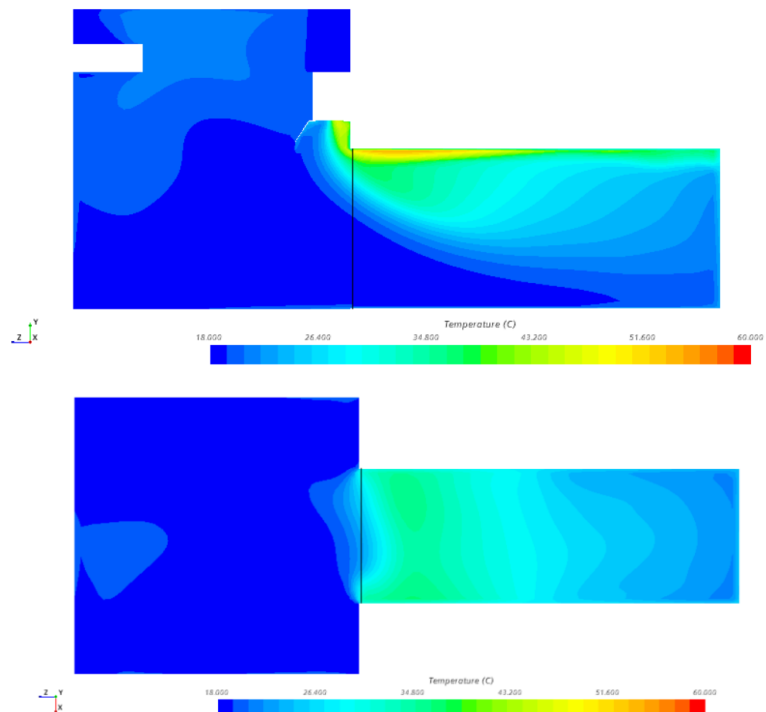


Рис. 5 – Поля скоростей и температур в характерных сечениях модели через 75 секунд после открытия двери в камеру (вариант 2; расход удаляемого воздуха 5400 м³/ч)

Установлено, что при размещении приточных устройств по краям помещения воздухообмен может быть снижен на 28% при обеспечении удаления газовой смеси камеры без прорыва в помещение.

Литература

1. Кузьмин М. С., Овчинников П. А. Вытяжные и воздухораспределительные устройства. М.: Стройиздат, 1987. – 168 с.
2. Сотников А.Г., Боровицкий А.Г. Систематизация и обобщение характеристик местных вытяжных устройств – основа инженерной методики проектирования эффективных СПВ // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 6(32). С. 54-59. DOI: 10.5862/MCE.32.8.
3. Сотников А.Г., Боровицкий А.А. Теоретически-экспериментальное обоснование метода оптимизации воздухообменов в системах промышленной вентиляции // Инженерно-строительный журнал. 2012. 28(2). С. 32-38. DOI: 10.5862/MCE.28.5.
4. Столер В. Д., Савельев Ю. Л., Иванов Ю. А., Шегал В. Л. Эффективные устройства местной вентиляции на промышленных объектах. СПб.: Издательство «Лань», 2017. - 252 с.
5. Сулин А. Б., Степанов В. В., Неганов Д. В., Седова А. А. Расчетное обоснование минимально необходимой производительности системы местной вытяжной вентиляции. Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). - С. 169–173.
6. Kulmala I., Hynynen P., Welling I., Saamanen A. Local ventilation Solution for Large, Warm Emission Sources. Annals of Occupational Hygiene. 2007. Vol.51, №1, pp. 35-43. DOI: 10.1093/annhyg/mel049. URL: [researchgate.net/profile/Ilpo_Kulmala/publication/6925326_Local_Ventilation_Solution_for_Large_Warm_Emission_Sources/links/5773c4df08ae1b18a7de366a/Local_Ventilation_Solution_for_Large_Warm_Emission_Sources/links/5773c4df08ae1b18a7de366a/Local_Ventilation_Solution_for_Large_Warm_Emission_Sources.pdf](https://researchgate.net/profile/Ilpo_Kulmala/publication/6925326_Local_Ventilation_Solution_for_Large_Warm_Emission_Sources/links/5773c4df08ae1b18a7de366a/Local_Ventilation_Solution_for_Large_Warm_Emission_Sources.pdf)



al-Ventilation-Solution-for-Large-Warm-Emission-Sources.pdf (дата обращения: 31.05.2020).

7. Месхи Б.Ч., Мозговой А.В. Устройство для борьбы с пылью, образующейся в рабочей зоне выбивной решетки литейного цеха // Инженерный вестник Дона, 2009, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2009/158

8. Новгородский Е.Е., Трубников А.А. Анализ подходов к оценке эффективности улавливания вредностей и прогноза загрязнения воздуха рабочих зон // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/961

9. Технический каталог оборудования фирмы MAUTING. URL: docplayer.ru/7686978-Mauting-classic-mauting-classic.html (дата обращения: 31.05.20).

10. Дацюк Т.А., Сауц А.В., Юрманов Б.Н., Таурит В.Р. Моделирование процессов вентиляции // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=6744 (дата обращения: 31.05.2020).

11. Logachev I. N., Logachev K. I., Averkova O. A. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015. 564 p.

References

1. Kuz'min M. S., Ovchinnikov P. A. Vytjazhnye i vozduhoraspredelitel'nye ustrojstva [Exhaust and air distribution devices]. Moscow, Strojizdat, 1987, 168 p.

2. Sotnikov A.G., Borovitskiy A.A. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, №6, 2012, pp. 54-59. DOI: 10.5862/MCE.32.8.

3. Sotnikov A.G., Borovitskiy A.A. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, №2, 2012, pp. 32-38. DOI: 10.5862/MCE.28.5.

4. Stoler V. D., Savel'ev Ju. L., Ivanov Ju. A., Shegal V. L. *Jeффективnye ustrojstva mestnoj ventiljicii na promyshlennyh ob#ektah*. Saint-Petersburg, Izdatel'stvo «Lan'», 2017, 252 p.
5. Sulin A. B., Stepanov V. V., Neganov D. V., Sedova A. A. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2014. № 6 (47), pp. 169–173.
6. Kulmala I., Hynynen P., Welling I., Saamanen A. Local ventilation Solution for Large, Warm Emission Sources. *Annals of Occupational Hygiene*. 2007. Vol.51, No.1, pp. 35-43. DOI: 10.1093/annhyg/mel049. URL: researchgate.net/profile/Iipo_Kulmala/publication/6925326_Local_Ventilation_Solution_for_Large_Warm_Emission_Sources/links/5773c4df08ae1b18a7de366a/Local-Ventilation-Solution-for-Large-Warm-Emission-Sources.pdf (accessed: 31.05.2020).
7. Meshi B. Ch., Mozgovoi A.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2009, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2009/158
8. Novgorodskij E.E., Trubnikov A.A. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2009, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/961
9. *Tehnicheskij katalog oborudovanija firmy MAUTING [MAUTING Technical Catalog]*. URL: docplayer.ru/7686978-Mauting-classic-mauting-classic.html (accessed: 31.05.20).
10. Dacjuk T.A., Sauc A.V., Jurmanov B.N., Taurit V.R. *Modelirovanie processov ventiljicii. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. 2012. № 5. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=6744 (accessed: 31.05.2020).
11. Logachev I. N., Logachev K. I., Averkova O. A. *Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions*. Boca Raton: CRC Press. 2015. 564 p.