

УДК 004.942

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОГО ФИЛЬТРО-ВЫТЯЖНОГО ЗОНТА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПОТОКОВ

Марков Н.А., Угорова С.В.

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,  
e-mail: mnikita.markovm@gmail.com, ughorova@mail.ru*

Проведено исследование работы фильтро-вытяжного зонта для улавливания загрязненных конвективных потоков при горении свеч в храмах-памятниках: теоретический расчет необходимых параметров удаляемого воздуха; исследование движения воздушных потоков с помощью математического моделирования. При горении свечей в храмах-памятниках образуются продукты сгорания (углеродсодержащие аэрозоли, сажа, копоть), которые негативно влияют не только на самочувствие прибывающих внутри людей, но и на памятную древнюю живопись, фрески. Существуют местные вентиляционные устройства для удаления вредных веществ, которые транспортируются по сети воздуховодов непосредственно в атмосферу. Для помещений, в которых нарушение внутреннего интерьера невозможно, необходима система удаления и фильтрации воздуха от источника вредных выделений. Для разработки конструкции выполнен патентный обзор вентиляционных устройств для удаления загрязненного воздуха. Настоящая работа направлена на оценку возможности применения разрабатываемого устройства в храмах-памятниках. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) определить эффективность разработанной полезной модели; 2) определить основные параметры удаляемого воздуха и развитие конвективного потока над источником тепловыделений; 3) оценить эффективность улавливания вредных выделений разработанным устройством.

**Ключевые слова:** вытяжной зонт, местная вентиляция, удаление и фильтрация воздуха, подсвечник, математическое моделирование

## EVALUATION DESIGNED FILTRATION EXHAUST HOOD TO CAPTURE CONTAMINATED CONVECTIVE STREAM

Markov N.A., Ugorova S.V.

*Vladimir State University, Vladimir, e-mail: mnikita.markovm@gmail.com, ughorova@mail.ru*

The results of experimental studies of functioning filtration exhaust hood to capture contaminated convective stream while burning a candles in memorial churches: theoretical calculation of the required parameters of the exhaust air, study of the movement of removed flows using mathematical modeling. Burning candles in memorial churches form combustion products (carbon-containing aerosols, soot) negatively effect on people inside and a memorable murals with the fresco. There are local exhaust ventilation system for pollutant removing, transported through a network of air ducts into the atmosphere. It is necessary to create a system for removing and filtering air from the source of harmful emissions inside premises, in which it is impossible to disturb the interior. A patent review of ventilation devices for the removal of polluted air was carried out for design development. This work is aimed at evaluating the possibility of using the developed device in memorial temples. To achieve this goal, the following tasks were set: 1) determine the effectiveness of the developed utility model; 2) determine the main parameters of the removed air and the development of the convective flow over the heat source; 3) to evaluate the effectiveness of trapping harmful emissions by the developed device.

**Keywords:** exhaust hood, local exhaust ventilation system, exhaust and air filtering, candlestick, mathematical modeling

При горении свечей в храмах-памятниках образуются продукты сгорания (углеродсодержащие аэрозоли, сажа, копоть), которые негативно влияют не только на самочувствие прибывающих внутри людей, но и на памятную древнюю живопись, фрески. Существуют местные вентиляционные устройства для удаления вредных веществ, которые транспортируются по сети воздуховодов непосредственно в атмосферу. Для помещений, в которых нарушение внутреннего интерьера невозможно, необходима система удаления и фильтрации воздуха от источника вредных выделений.

Для разработки конструкции выполнен патентный обзор вентиляционных устройств для удаления загрязненного воздуха. По его результатам были выделены:

вихревой местный отсос [1], недостатками которого являются неравномерность скоростей всасывания воздуха, неэффективное использование пространства между конусами, увеличение веса конструкции, наличие расширения по ходу воздушного потока, которое снижает скорость потока и способствует налипанию загрязнений; вытяжной кожух [2], недостатками которого являются сложность конструкции и снижение эффективности работы вытяжного зонта из-за неравномерности всасывания; вытяжные зонты [3, 4], недостатком которых является невозможность их установки без вытяжного воздуховода, нарушающего внутренний интерьер помещения и требующего устройства вентиляционных отверстий в перекрытиях или стенах.

Настоящая работа направлена на оценку возможности применения разрабатываемого устройства в храмах-памятниках.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить эффективность разработанной полезной модели;
- определить основные параметры удаляемого воздуха и развитие конвективного потока над источником тепловыделений;
- оценить эффективность улавливания вредных выделений разработанным устройством.

### Материалы и методы исследования

Теоретический расчет размеров корпуса и целесообразности применения вытяжного зонта для удаления загрязненного воздуха проводился по методике расчета местных вытяжных устройств (рис. 5) [5]. Для расчета производительности устройства учитывались тепловыделения от горящих свечей как тепловыделения от нагретых поверхностей по методике расчета горячих конвективных потоков [6, 7].

Для оценки эффективности применения разработанной конструкции вытяжного зонта проведено математическое моделирование с помощью программного комплекса SolidWorks с разделом вычисления потока газа FlowSimulation, основанное на методе конечных объемов. (серийный номер: 9710 0250 0354 3538 JGWC T8N8, сетевая лицензия: 25735).

Для расчета учтены движение окружающего воздуха внутри помещения, влияющего на сбивание восходящих от свечей потоков газа при горении, перемещение поверхностей тепловыделений от свечи во время ее сгорания, а также характеристики производительности подобранных вентиляторов для назначения граничных условий.

*Проведение математического расчета.* Для построенной модели (рис. 1) разработанного вытяжного зонта (внешний корпус – нижнее основание 310x310 мм, верхнее основание 150x150 мм, внутренний корпус – нижнее основание 200x200 мм, верхнее 100x100 мм) и подсвечника с установленными в столешницу диаметром 200 мм, удаленную на расстояние 450 мм от нижней кромки зонта, свечами длиной 300 мм были заданы граничные условия:

I рода – для параметров вентилятора (объемный расход на входе и выходе  $L=0,0041 \text{ м}^3/\text{с}$ ), для параметров окружающего воздуха (температура  $T = 18^\circ\text{C}$ , давление  $P = 101333 \text{ Па}$ );

II рода – условие градиента бесконечности на границах расчетной области по давлению, температуре и скорости, условия течения окру-

жающего воздуха  $u_v = \text{const} = 0.2 \text{ м/с}$  вдоль оси X, движение столешницы под свечи  $v = -0,083 \text{ м/с}$  вдоль оси Y;

III рода – тепловыделения для верхних граней цилиндра свечи  $Q = 75 \text{ Вт}$  [8] (8 шт.).

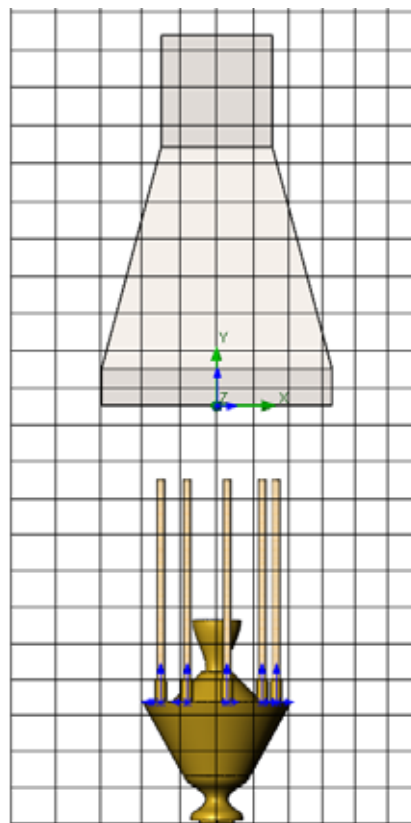


Рис. 1. Расчетная область с построенными моделями вытяжного устройства и подсвечника

Установленное фактическое время 300 секунд, количество разбитых ячеек по текучей среде 30 708, твердой среде – 1 008, итераций более 7 000.

### Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 2 показано движение газовых потоков в конечный момент времени расчета. Предполагается, что смещение потоков газа относительно оси расположения модели является результатом влияния движения окружающего воздуха. Это следует также из разницы подпора воздуха с разных сторон.

Принцип работы полезной модели вытяжного зонта (рис. 3) заключается в эжекции основного конвективного потока воздуха через внутренний корпус струей с большей кинетической энергией на выходе из межкорпусного пространства.

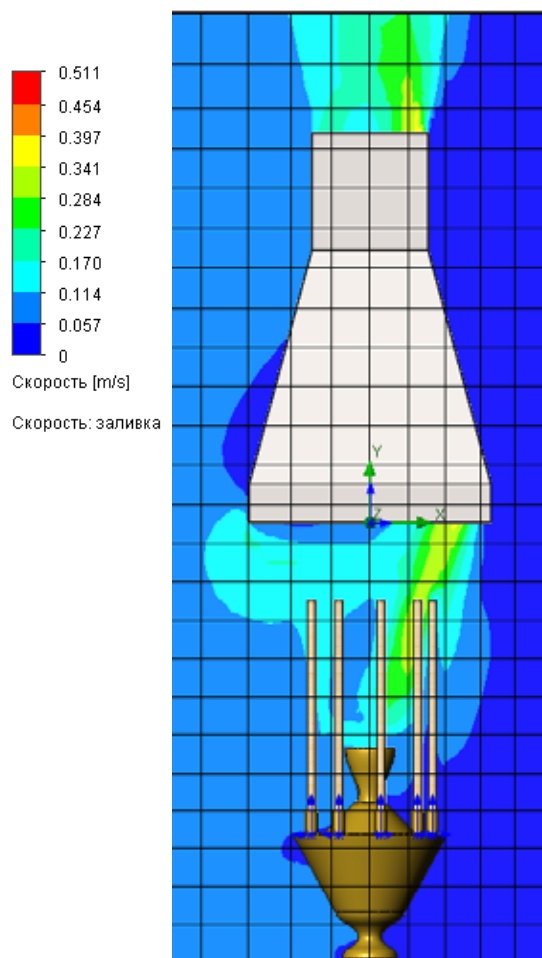


Рис. 2. Распределение скоростей в сечении

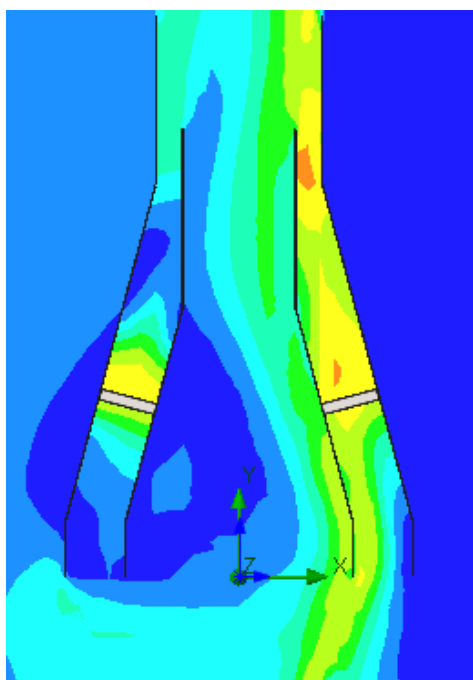


Рис. 3. Принцип работы полезной модели

На рисунке 3 видно, что скорость внутри корпуса  $u = 0,2$  м/с при смешении с удаляемым воздухом, выходящим из внешнего корпуса и приобретаемым большую скорость за счет работы вентиляторов, увеличивается до  $u = 0,4$  м/с.

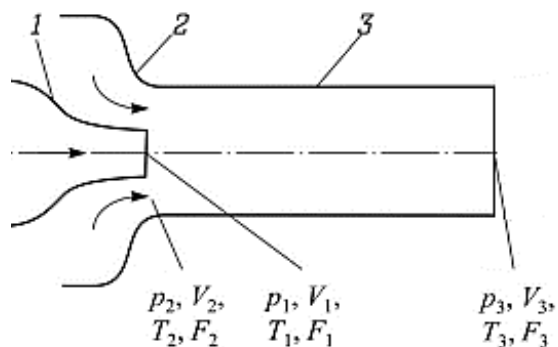


Рис. 4. Эжекция воздуха при 2 потоках с разными параметрами

Расчет эжекции воздуха производится по формуле (1) [9] с основой на типовой схеме смешения газовых потоков с различными скоростями при прохождении через кольцевые или прямоугольные отверстия (рис. 4).

$$G_3 = G_1 + G_2 \quad (1)$$

или

$$u_3 \cdot A_3 \cdot B_3 = u_1 \cdot A_1 \cdot B_1 + u_2 \cdot A_2 \cdot B_2$$

Теоретическая скорость воздуха в блоке смешения и фильтрации удаляемого воздуха  $u_3 = 0,311$  м/с. Исходя из полученных результатов математического моделирования, скорость в зоне смешения равна  $0,284-0,341$  м/с.

Неравномерность смешения потоков может быть связана с недостаточной длиной камеры смешения.

При определении размеров конструкции устройства (рис. 5) были рассчитаны скорость на входе в вытяжной зонт по формуле (2), которая зависит от тепловыделений ( $Q$ ), расстояния до кромки зонта ( $l$ ) и эквивалентного диаметра ( $d$ ).

$$v_1 = 0.068 \sqrt{Q \cdot \frac{l}{d^2}} \quad (2)$$

Осевая скорость воздуха на входе в вытяжной зонт, рассчитанная теоретическим путем, составляет  $v_1 = 1,16$  м/с.

В конечный момент времени расчета 300 секунд максимальная скорость воздуха на нижней кромке зонта составляет  $0,4$  м/с, что в 3 раза ниже теоретической. Это может объясняться тем, что горизонтально направленные струи воздуха сбивают удаляемый поток.

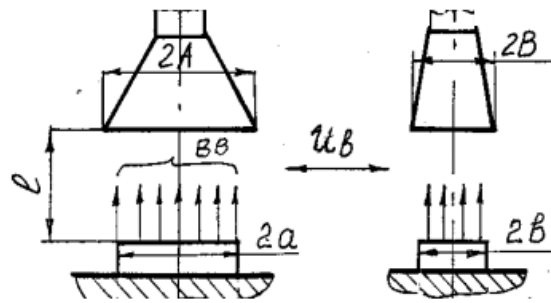


Рис. 5. Расчетная схема прямоугольного зонта

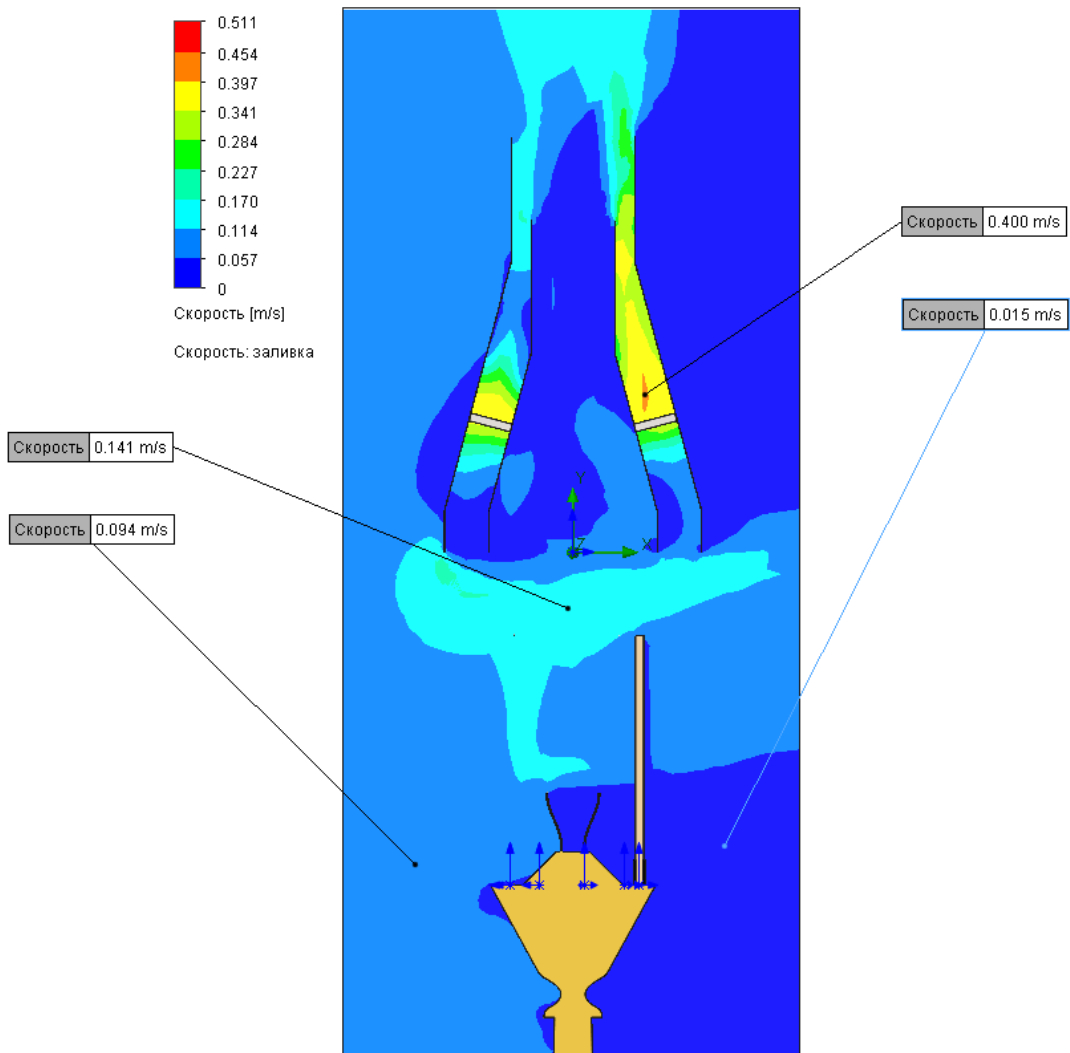


Рис. 6. Распределение скоростей в сечении на 10-й секунде

На рисунках 6–8 видно, что для стабилизации удаления воздуха при возможном движении окружающего воздуха необходимо 3 минуты. Это объясняется тем,

что вентиляторам требуется обеспечить воздухообмен межкорпусного пространства и уловить восходящие конвективные потоки.

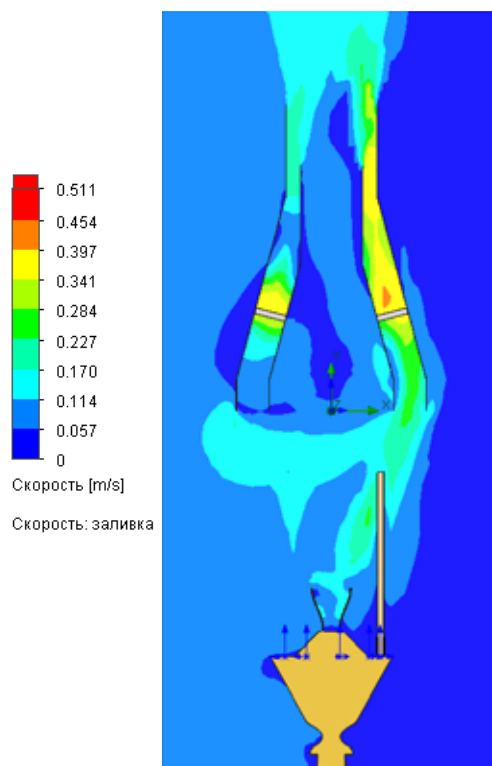


Рис. 7. Распределение скоростей в сечении на 180-й секунде

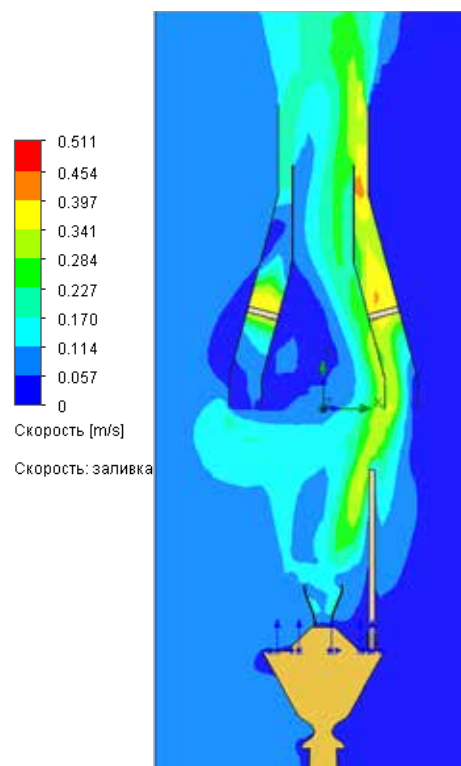


Рис. 8. Распределение скоростей в сечении на 300-й секунде

### Выводы

Анализ результатов оценки эффективности работы разработанной конструкции вытяжного зонта для удаления конвективных потоков показал, что:

- подвижность воздуха внутри помещения не влияет на работу устройства;
- эффективность работы вытяжного зонта подтверждена при помощи математического моделирования;
- тепловыделения от горящих свечей незначительно влияют на температуру удаляемых газов (на расстоянии 50–100 мм температура восходящих газов принимает температуру помещения);
- для стабилизации работы устройства необходим интервал времени (180 сек), за которое воздух в межкорпусном пространстве приобретает достаточную скорость для эжекции основного конвективного потока.

### Список литературы

1. Стариков В.А., Перевозкина А.Ю. Вытяжной зонт. Патент РФ № 2235609, Российская Федерация. Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тюменский государственный нефтегазовый университет. 2004.
2. Байгильдин Р.Р. Вытяжной кожух. Патент на полезную модель РФ № 202179, Российская Федерация. Патентообладатель: Байгильдин Радмир Радикович. 2021. Бюл. № 4.

3. Угорова С.В. Вытяжной зонт. Патент РФ № 201720. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение образования «Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ). 2022. Бюл. № 12.

4. Еремкин А.И., Аверкин А.Г., Пономарева И.К., Петрова К.А., Багдасарян А.Г. Подсвечник для культовых сооружений. Патент РФ № 208995. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства». 2022. Бюл. № 3.

5. Стуров Д.С. Проектирование и расчет местной вентиляции машиностроительных производств: учебное пособие для студентов технических специальностей вузов и техникумов дневного, вечернего и заочного обучения; под ред. В.Ф. Мироненко. Барнаул: Изд-во АЛТ ГТУ, 2006. 210 с.

6. Павлов И.Н. Системы вентиляции промышленных помещений: методические рекомендации по проведению практических занятий по дисциплине «Цеховые климатические установки» для студентов направления подготовки 18.05.01 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий. Бийск: Изд-во АЛТ ГТУ, 2017. 72 с.

7. Сорокина Л.В. Сумарченкова И.А. Расчет вытяжной местной и общеобменной вентиляции: методические указания к выполнению практических работ / Под ред. Г.Н. Ягвина. Самара, 2017. 47 с.

8. Ерёмки А.И., Петрова К.А., Багдасарян А.Г., Пономарева И.К. Пути повышения качества микроклимата в зале богослужения Спасского кафедрального собора г. Пензы // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 4. С. 121-130.

9. Евдокимов О.А., Веретенников С.В. Механика жидкости и газа: учебное пособие. Рыбинск: РГАТУ им. П.А. Соловьёва, 2017. 138 с.