

ИЗУЧЕНИЕ СВОБОДНЫХ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ СТРУЙ, ИСТЕКАЮЩИХ ИЗ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ФОРМОЙ ВЫХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ

асп. Родькина О.В., к.т.н., доц. Петренко В.О.

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Формулировка проблемы. Для разработки конструкции воздухораспределителя с изменяющейся формой выходного отверстия необходимо обосновать и выявить закономерности формирования формы приточной изотермической струи и установить характер взаимодействия параметров струи в воздухораспределителе и свободном пространстве.

В данной статье даны результаты исследования изотермических струй, истекающих из воздухораспределителя с изменяющейся формой выходного отверстия, что позволяет более точно определить характеристики струи и сформулировать основные положения для решения задачи по расчету воздухораспределителей для заданных условий работы.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1,2,3,4] авторами рассмотрены вопросы формирования воздушных струй, истекающих из воздухораспределителей с различной геометрической формой выходного отверстия, даны зависимости для определения скоростей на оси струи и ее границах. Представлены результаты испытаний наиболее распространенных конструкций воздухораспределителей. Приведенные зависимости для определения скоростей не учитывают геометрические параметры воздухораспределителей в целом.

В работах [4-10] рассмотрены вопросы моделирования воздухораспределительных устройств на экспериментальных установках и в натуре. Авторами в работах [5, 11] дана методика определения критериев соответствия экспериментальных результатов исследования натурным, которая позволяет применять ее для разработки воздухораспределителей с изменяющейся формой выходного отверстия.

Результатом анализа исследований и публикаций различных авторов является выявление следующего:

1) в работах представленные зависимости расчета скоростей на оси струи и ее границах не учитывают геометрические размеры воздухораспределителя в целом;

2) не рассматриваются вопросы конструирования воздухораспределителей исходя из заданных границ рабочего места.

Цели. Основной целью статьи является изучение свободной изотермической струи, истекающей из воздухораспределителя с изменяющейся формой выходного отверстия методами лабораторных исследований и моделирования на ПЭВМ.

При изучении свободной изотермической струи решались следующие задачи:

1) определение границ струи, истекающей из воздухораспределителя с изменяющейся геометрией выпускного отверстия и эпюр скоростей на лабораторном стенде;

2) изучение формирования струи в воздухораспределителе и свободном пространстве, используя моделирование на ПЭВМ.

Основной материал. Для обеспечения требуемых параметров микроклимата в помещении [11] следует правильно выполнить подбор воздухораспределителя. Ввиду большого количества факторов влияния на характер распределения воздушных течений в помещении, для изучения систем распределения воздуха в помещении приходят к использованию метода моделирования.

В статье описаны два метода: лабораторный эксперимент на модели и компьютерное моделирование.

При исследовании струи соблюдены условия, при которых она может свободно развиваться, что описывается степенью ее состояния, т.е. величиной отношения площади отверстия патрубка к площади сечения помещения, где проводятся испытания [4, 8, 9]. Для эксперимента использовалось помещение, в котором эта величина равна $F_{от}/F_{пом} = 1,25 \cdot 10^{-4} \div 2,5 \cdot 10^{-4}$, что позволяет считать струю свободной.

Для распространения результатов эксперимента на натурные объекты, при его проведении руководствовались основными положениями теории подобия и моделирования.

Основные правила моделирования вытекают из теории подобия и базируются на теореме Кирпичева-Гухмана [5]. Подобие величин, характеризующих явление, может быть выражено через коэффициенты пропорциональности или константы подобия [7]:

$$C_l = \frac{l''}{l'}; \quad C_v = \frac{v''}{v'}; \quad C_T = \frac{T''}{T'}; \quad C_{\mu_e} = \frac{\mu_e''}{\mu_e'}; \quad C_\rho = \frac{\rho''}{\rho'},$$

где величины с двумя штрихами используются для натуре, с одним – для модели.

При истечении воздуха в свободное пространство обеспечено геометрическое и гидромеханическое подобие. Геометрическое подобие обеспечено соблюдением масштаба:

$$C_l = \frac{l''}{l'} = \frac{H''}{H'} = \frac{B''}{B'}; \quad C_l = \frac{x''}{x'} = \frac{y''}{y'} = \frac{z''}{z'}$$

Для соблюдения гидромеханического подобия следует обеспечить идентичность численных значений критериев подобия, характеризующих процесс. Из рассмотрения уравнения сплошности и уравнения движения несжимаемой жидкости установлено, что при гидромеханическом подобии в

любых сходственных точках критерии Рейнольдса Re , Фруда Fr , Эйлера Eu и гомохромности No имеют одни и те же значения [7].

Для обеспечения гидромеханического подобия определяющим критерием являлся критерий Рейнольдса $Re = \frac{v l}{\nu}$. Для пересчета скоростей использовалось следующее равенство: $v'' l'' = v' l'$. При константе геометрического подобия $C_l = \frac{l''}{l'}$: $v' = C_l v''$

При моделировании обеспечена автомодельность вынужденного течения $Re = 10 \cdot 10^4 - 19 \cdot 10^4$.

Для проведения эксперимента использовался аэродинамический стенд, работающий по схеме «нагнетания» и состоящий из нагнетателя 1, камеры статического давления 5, коллектора для замера параметров воздуха 6, воздухораспределителя с изменяющейся геометрией выходного отверстия 7, системы воздухопроводов, координатника, измерительных приборов и регулирующих устройств.

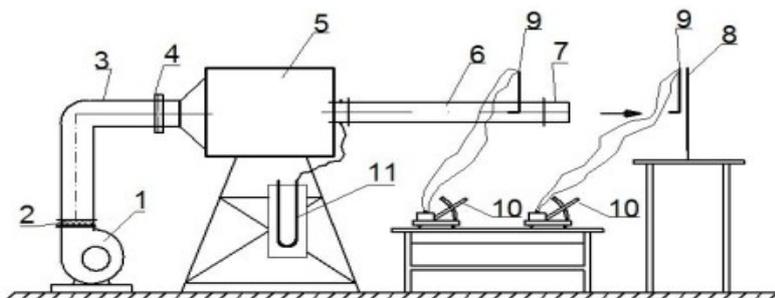


Рис.1. Принципиальная схема аэродинамического стенда

1- нагнетатель; 2 – гибкая вставка; 3 – воздухопровод; 4 – шибер; 5 - камера статического давления; 6 – коллектор; 7 – исследуемый воздухораспределитель; 8 – координатник; 9 - пневмометрическая трубка; 10 – микроманометр; 11 - U-образный манометр.

Контроль за постоянством расхода в коллекторе осуществлялся U-образным манометром, перед подачей в воздухораспределитель и на расстоянии от него – пневмометрическими трубками, соединенными с микроманометрами типа ММН-2400.

Одной из основных задач эксперимента являлось изучение угла раскрытия и границ струи. Для визуального определения границ струи, направления потока, наблюдения за качественной картиной движения потоков, а также для установления контрольных точек замеров использовалась координатная сетка с площадками 20x20 мм, натянутая на раме 0.7x0.9 м. В узлах сетки закреплены нити для установления направления потока.

В модели присутствует труба квадратного сечения длиной 1000 мм и сечением 50x50 мм и насадок с регулируемым выходным сечением (рис.2).

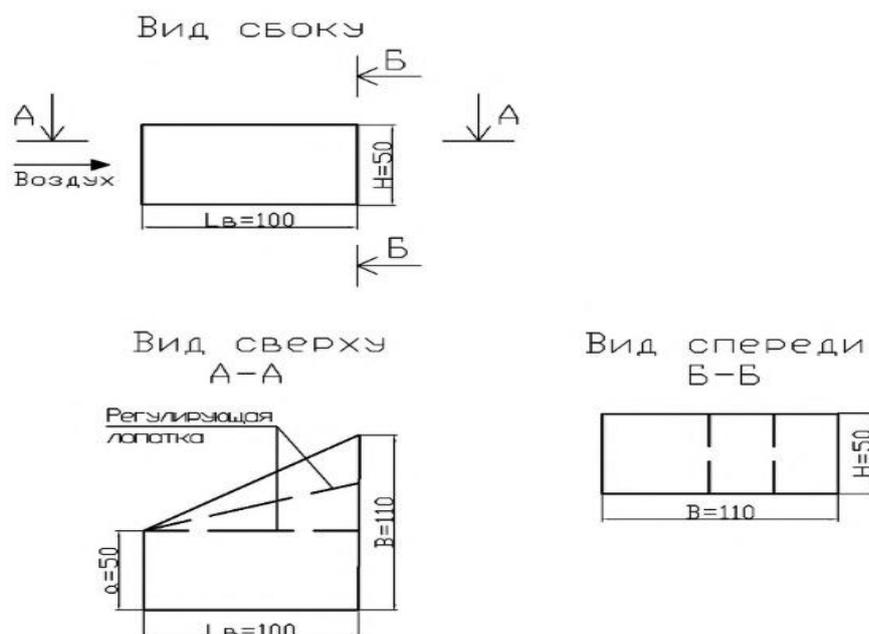


Рис.2 Исследуемый воздухораспределитель

При проведении эксперимента исследование потоков осуществлялось при истечении из насадок с различным выходным сечением: 50x50, 50x60, 50x70, 50x80. Скорость исследовалась перед входом в коллектор, на расстоянии 10мм от входа в воздухораспределитель, на срезе патрубка и на различных расстояниях от него в сечениях струи. За границу активной части струи принята линия, в которой скорость равна 0,5 от осевой ($0,5V_x$).

В процессе обработки экспериментальных данных исследований динамического режима струи кроме угла расширения струи определялся угол отклонения линии максимальных скоростей от середины выпускного отверстия (для асимметричных воздухораспределителей).

Расход воздуха в сечении патрубка на истечении рассчитан по следующей формуле:

$$L_0 = k_n^v \cdot V_0^{\max} \cdot F_0,$$

где k_n^v - коэффициент неравномерности скоростного поля в выпускном отверстии; F_0 - площадь сечения, м^2 ; V_0^{\max} - максимальная скорость воздуха на истечении из воздухораспределителя, м/с .

В результате обработки данных при трех положениях заслонки получен коэффициент $k_n^v=0,94$. Соответственно имеем три значения расхода: $L_1=0,108 \text{ м}^3/\text{с}$ – при открытой заслонке; $L_2=0,092 \text{ м}^3/\text{с}$ – при закрытии заслонки на 2,5 см; $L_3=0,078 \text{ м}^3/\text{с}$ – при закрытии заслонки на 5 см.

При открытой заслонке, $L_1=0,108 \text{ м}^3/\text{с}$, получены границы струи, осевая скорость в выходном сечении и на расстоянии 0,5 м.

Существующий метод определения границ струи с использованием лабораторного стенда является не достаточно точным. Возникают погрешности при производстве замеров исследуемых параметров и погрешности измерительной техники. Поэтому нами проведено исследование формирования

струи в воздухораспределителе и свободном пространстве при помощи моделирования на ПЭВМ.

Для компьютерного моделирования использовался программный пакет SolidWorks, модуль Flow Simulation. Исходные данные задавались аналогичные с данными для натурального эксперимента.

Производилось решение внешней задачи. В качестве начальных условий заданы параметры окружающей среды: $P=101325$ Па, $T=293,2$ К, $V=0$ м/с, интенсивность турбулентности = 0,1%, длина пути смешения=0,0061 м (задаются программой по умолчанию).

В качестве граничного условия установлен объемный расход на входе в коллектор = 0,108 м³/с (в соответствии с лабораторным экспериментом). В качестве целей для итераций (для проверки сходимости) задавались два параметра: средняя скорость и средняя объемная скорость. Расчетная область определяется границами: $-0.01 < x < 7$; $-0.5 < y < 0.5$; $-1 < z < 0.5$. Размеры ячейки расчетной сетки 50x50 мм. Для получения более точных результатов производилось измельчение сетки по длине коллектора, в области действия струи (в 2² раза по всем направлениям осей координат) и в насадке (в 2⁴ раза).

На рис. 3 приводятся результаты исследования двух насадков с выходным отверстием соответственно 50x50 и 50x70 (вид сверху, сечение, совпадающее с линией $y=0$).

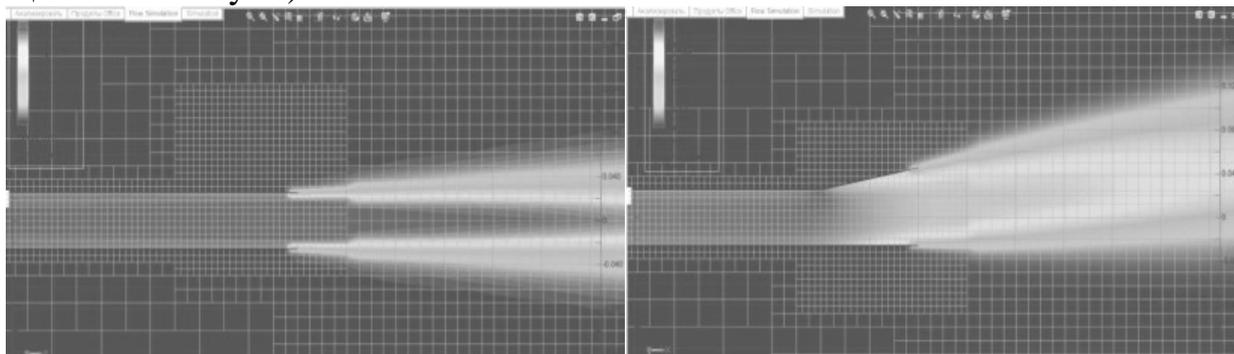


Рис.3 Результаты по воздухораспределителям с размерами 50x50 и 50x70

На следующих схемах представлены результаты по струям, полученные при лабораторном эксперименте и в SW при одинаковых условиях. Обозначены линия максимальных скоростей, границы активной части струи, на которых скорость равна 0,5 от осевой, углы отклонения линии максимальных скоростей и границ струи.

В результате исследования двумя методами установлены основные закономерности формирования струи, истекающей из воздухораспределителя с асимметричным профилем выходного отверстия:

- при увеличении угла отклонения стенки насадка, струя практически не имеет начального участка: скорость на оси снижается уже в насадке.
- струя имеет асимметричную форму;
- линия максимальных скоростей отклоняется от середины воздухораспределителя на угол β , который увеличивается при $50 < B < 80$.

- углы раскрытия струи определяются углами $\alpha_{0,5V_1}$ и $\alpha_{0,5V_2}$. Из приведенных схем видно, что $\alpha_{0,5V_1} > \alpha_{0,5V_2}$. Следовательно, отклонение стенки влияет на формирование струи.

Расхождения в результатах не превышают величину 15%, что позволяет использовать метод компьютерного моделирования для исследования формирования струи. Разница в скорости в точке, удаленной на 10 см от входа в воздухоораспределитель, возникает из-за различия в равномерности распределения скоростей по поперечному сечению воздуховода.

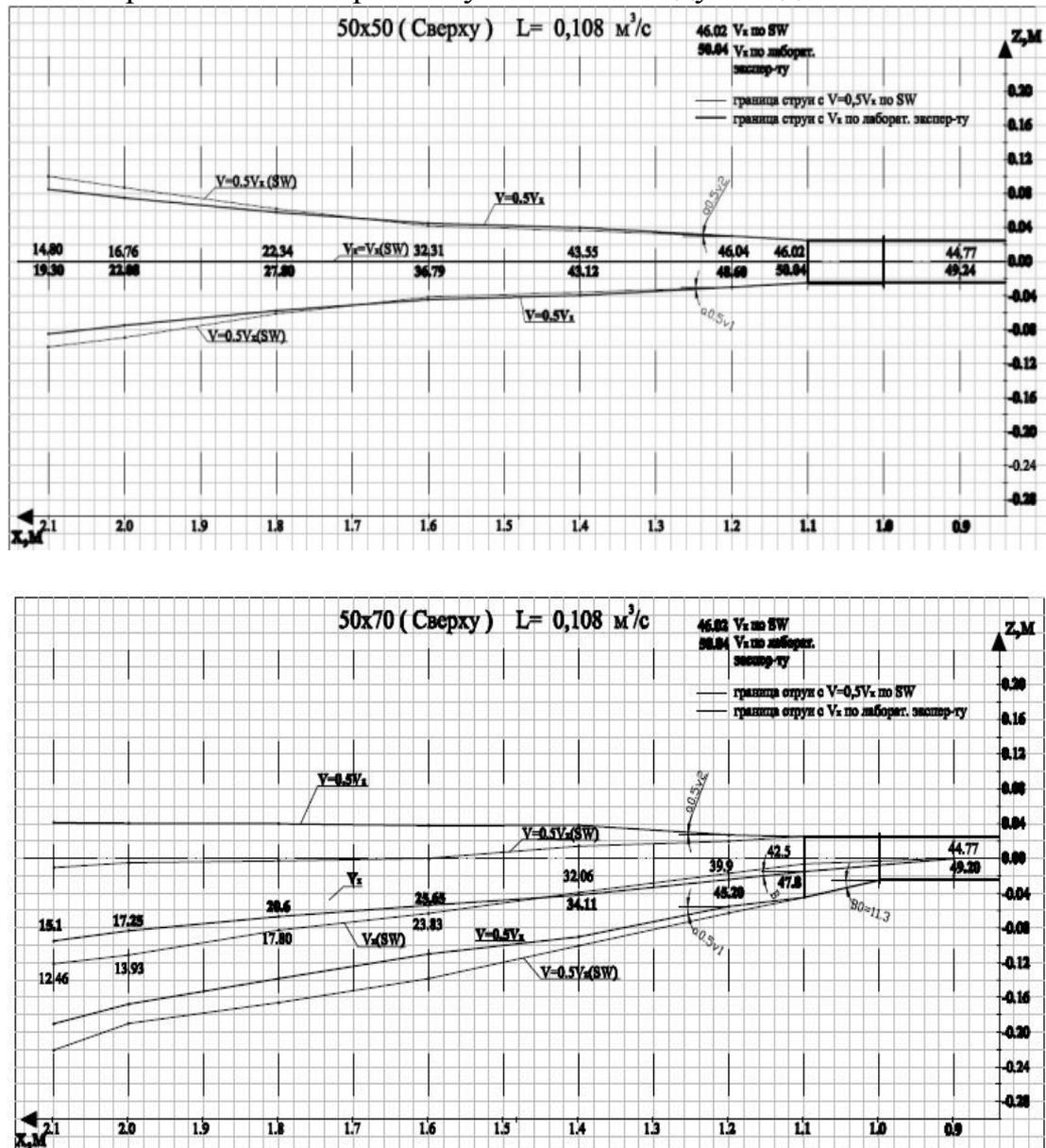


Рис. 4. Формирование струй из насадков с выходным сечением 50x50 и 50x70.

Выводы. На данном этапе проведения исследований установлена схема формирования струи при истечении воздуха из воздухоораспределителя с изменяющейся геометрией выходного отверстия, изучена линия максимальных скоростей, углы отклонения. Осуществлено сопоставление результатов

моделирования на лабораторном стенде и в программном пакете SolidWorks Flow Simulation.

Полученные результаты позволяют решить важную задачу воздухораспределения, а именно, точного подбора воздухораспределителя, исходя из геометрических параметров рабочей зоны и требуемых характеристик воздуха в ней.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях. Изд. 3-е. - С. – П., Изд-во «АВОК Северо-Запад», 2004.

2. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М., Стройиздат, 1978.

3. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. Репринтное воспроизведение 1960 г. – М.: ЭКОЛИТ, 2011.

4. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции: Учеб пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1979.

5. Дерюгин В.В. Методика моделирования стационарных тепловых и аэродинамических процессов при решении задач вентиляции. В сб. трудов ЛИСИ №110, Л., 1975, с. 34-48.

6. Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. М., Профиздат, 1990.

7. Гримитлин М.И. Моделирование и расчет воздухораспределительных устройств. – В сб.: Очистка промышленных выбросов и вопросы воздухораспределения. –ВНИИОТ, Ленинград, 1969

8. Максимов Т.А., Дерюгин В.В. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления. Л., Стройиздат, 1972.

9. Бахарев В.А., Трояновский В.Н. К вопросу о закономерностях стесненных струй. В сб. трудов: Теория и расчет вентиляционных струй. Л., ЛИОТ, 1965.

10. Чесанов Л.Г. Исследование и разработка рациональной системы кондиционирования воздуха в рабочих зонах у сталеплавильных агрегатов мартеновских цехов: Диссертация на соискание степени кандидата технических наук/ Днепропетровский инженерно-строительный институт. - Днепропетровск, 1981. – 315 с.

11. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977.

12. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.