

УДК 697.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПАЛАТЕ
ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНЫХ****СИТНИКОВ НИКИТА РИНАТОВИЧ**магистрант, Самарский государственный технический
университет, Россия, 443001, г. Самара, Молодогвардейская ул., 244**Аннотация**

Данная статья предназначена для исследования работы вентиляции в палатах инфекционных больных. Описываются методы, с помощью которых можно проводить исследование. Выбираются программы для проведения исследования. Создается геометрии помещений и воздушного пространства. Так же создаются варианты симуляций с различными геометриями системой вентиляции и условиями. Производятся расчеты вентиляции. Создается условия для проведения симуляции. Выбирается расчетная сетка для дальнейшего проведения исследования. Проводятся симуляции и выписываются результаты.

Ключевые слова: исследование, оптимизация, вентиляция, расчеты, эффективность, моделирование, инфекция, палата.

**RESEARCH OF VENTILATION IN THE CHAMBER OF INFECTIOUS
PATIENTS****NIKITA R. SITNIKOV**master student, Samara State Technical
University, Russia, 443001, Samara, Molodogvardeiskaya St., 244**ABSTRACT**

This article is intended to study the operation of ventilation in the wards of infectious patients. The methods with which you can conduct research are described. Programs are selected for the study. The geometry of the rooms and airspace is created. Simulation options are also created with various geometries of the ventilation system and conditions. Ventilation calculations are made. The conditions for the simulation are created. A computational grid is selected for further research. Simulations are conducted and results are written out.

Key words: Research, optimization, ventilation, calculations, efficiency, modeling, infection, ward.

Система вентиляция – это важнейший способ поддержания микроклимата в помещении. Существует различные типы зданий, сооружений и помещений, находящихся в них. Все помещения различны и каждому необходимо создать свои условия микроклимата, что достигается с помощью вентиляции. Оптимизация вентиляционной системы – это обширная тема, которая может включать в себя от оптимизации какого-либо отдельного элемента системы до всей системы в целом. Существует множество способов оптимизации вентиляции как с помощью установки более совершенного оборудования или переделки системы в целом, так и создание способов расчета для создания более эффективной системы. Данная работа направлена на изучение системы вентиляции в помещении палаты, в которой лежат больные инфекцией.

Необходимо изучить все возможные методы исследования и определиться какими будет проводиться исследование в дальнейшем. Всего методов 7: эксперименты; наблюдение; расчеты, измерения; моделирование; беседа или интервью; опрос; описание и т. д. Такие методы как «эксперименты», «наблюдение», «расчеты, измерения» и «моделирование» можно использовать для данного исследования, с их помощью можно будет добиться определенных результатов. Методы «наблюдение», «беседа или интервью», «опрос» и «описание и т.д.» к выполнению данной работы не подходят. Итак, мы определили какими методами можем проводить исследование и разберем немного их. Оставшиеся методы можно разделить на две категории: 1-моделирование которое включает в себя сам метод «моделирования» и так же методы «эксперименты» и «наблюдение»; 2-расчеты и измерения. Мы будем использовать метод моделирования так как он более точен.

Исследование будет проводиться с помощью онлайн программы SimScale. SimScale - это платформа для инженерного моделирования, которая революционизирует методы проектирования продуктов инженерами, дизайнерами, учеными и студентами. С помощью этой программы будет проводиться симуляция работы вентиляции, которая необходима для понимания насколько эффективно работает система. Программа исключительно на английском языке.

Для начала необходимо построить геометрию помещения с помощью инженерной программы AutoCAD. Палата будет рассчитана на четырех пациентов и имеет размеры: высота - 3000мм, ширина - 4440мм, длина - 7200мм. Палата имеет окна над каждой койкой больного, дверь на вход и дверь в санузел, так же в палате имеется кое какая мебель, а именно тумбочки, кровати и загораживающие шторы. Помещение и мебель необходимо создать в трехмерном виде. Далее так как будет происходить изучение протекания потоков воздуха необходимо вырезать из геометрии помещения всю мебель что бы создать геометрию воздушного пространства. Для уменьшения времени проведения исследования геометрии мебели создавались с минимальной детализацией как параллелепипеды. Создадим несколько вариантов геометрий помещения, системы вентиляции и граничных условий для сравнения их между собой. Создаем две модели объема воздуха в помещении: первый вариант – расположение входной двери напротив окон по центру комнаты и расположение двери в с/у в комнате на стене справа (Рис.1, Б); второй вариант – расположение входной двери напротив окон справа от центра и расположение двери в с/у в комнате напротив окон слева от центра (Рис.1, А).

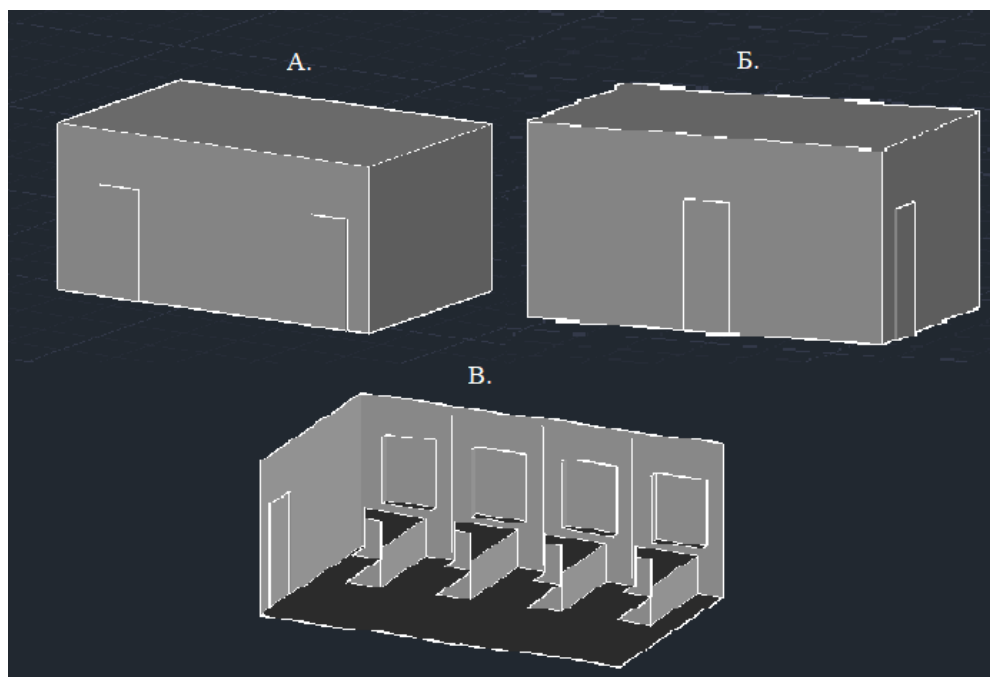


Рисунок 1. 3Д модель объема воздуха: А – второй вариант геометрии, Б – первый вариант геометрии, В – вид спереди под углом

Следующим этапом является проектирование системы вентиляции. Существует много учебных пособий для проектирования вентиляции [1-4]. Главным документом для проектирования вентиляции является СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [1]. Так же очень важным документом является СП 158.13330.2014 «Здание и помещения медицинских организаций. Правила проектирования» [5]. И так СП60 необходим для проектирования вентиляции в целом, а СП158 для того чтобы спроектировать вентиляцию в помещении, которое нам необходимо. Согласно СП158 исследуемое помещение является боксированной палатой (изолятор) – это комплекс помещений, предназначенный для изоляции больного, состоящий из палаты, санузла (или слива) со входом из палаты, шлюза между палатой и коридором. Согласно [5] вентиляция в таком помещении проектируется только вытяжная, а приточный воздух будет поступать из коридора через шлюз. Еще важно знать, что количество вытягиваемого воздуха выше чем приточного, это называется отрицательным дисбалансом. Отрицательный дисбаланс в таком помещении необходим чтобы не допустить попадания зараженного воздуха в другие помещения. Так же написано, что в одно или в двух койчных палатах воздух удаляется только через санузел, а в трех или в четырех койчных палатах воздух должен удаляться поровну из палаты и санузла, в связи с этим и было принято решение спроектировать палату на четыре койки. Для расчета системы вентиляции необходимо знать какое количество воздуха необходимо будет подавать и удалять из помещения, в этом нам поможет таблица из СП158 [5, приложение Г].

Исходя из выше указанной таблицы нам необходимо подавать и удалять из помещения 160 м^3 воздуха в час на одного человека. Всего нам потребуется подать и удалить из помещения $640 \text{ м}^3/\text{час}$ воздуха. С учетом проектируемой палаты необходимо удалять по $320 \text{ м}^3/\text{час}$ воздуха из самой палаты через вытяжные диффузоры и через помещение санузла. Как было сказано ранее вентиляцию необходимо посчитать для двух вариантов, они будут отличаться расположением и количеством воздухораспределителей. В первом варианте (Рис. 2, А) будет четыре воздухораспределителя каждый из которых будет располагаться ровно над головой больного, а во втором варианте (Рис. 2, Б) будет

три воздухоораспределителя которые тоже будут располагаться над головами больных, но каждый из них будет находиться между двумя пациентами ровно над загораживающими шторками.

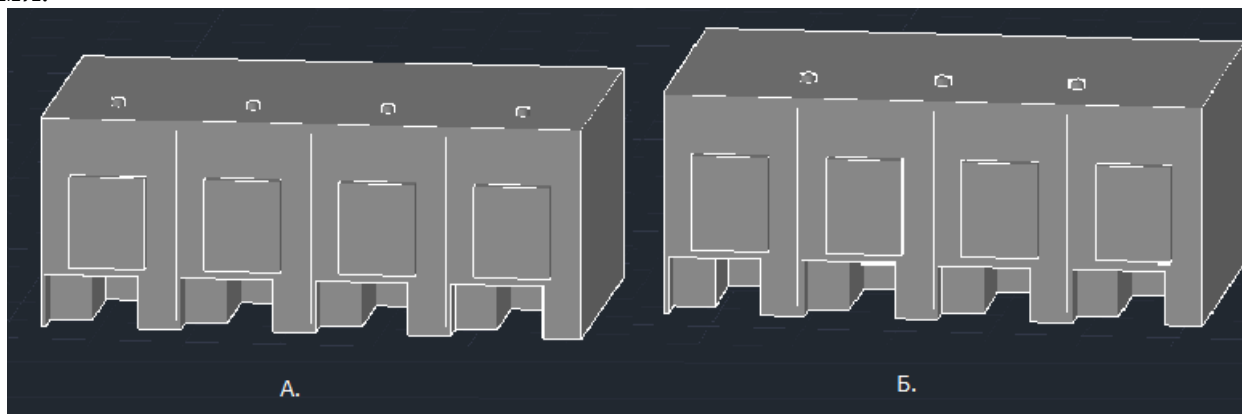


Рисунок 2. А – вариант с четырьмя воздухоораспределителями, Б – вариант с тремя воздухоораспределителями

Важно помнить, что воздухоораспределители находятся непосредственно над пациентами, которые находятся в палате постоянно и если скорость воздуха в воздухоораспределителе будет высокой, то шум будет сильно мешать пациентам, в связи с этим скорость воздуха в воздухопроводе будем принимать наименьшей. Согласно СНиП 23-03-2003 [6] допустимый уровень звукового шума для палат больниц составляет 35 дБА в дневное время в период с 7.00 до 23.00 и 25 дБА в ночное время в период с 23.00 до 7.00. Систему вентиляции необходимо спроектировать с помощью этих данных чтобы пациенты комфортно чувствовали себя в любое время суток. В помещение будут устанавливаться обычные потолочные диффузоры для удаления зараженного воздуха из помещения. По данным акустических характеристик диффузоров от производителей можно определить какого размера диффузора можно установить. Для этого необходимы данные расхода воздуха в каждом диффузоре. Это легко посчитать так как известно общее количество воздуха удаляемого через эти диффузоры и их количество. Для первого варианта получается расход на одном диффузоре $80 \text{ м}^3/\text{час}$ ($320/4$), для второго варианта $106,6 \text{ м}^3/\text{час}$ ($320/3$). После получения данных значений мы определяем необходимый размер диффузора для каждого варианта в зависимости от акустических условий и получаем что для первого варианта нам необходимо установить диффузоры $\text{Ø}160$, а для второго используем диффузоры $\text{Ø}200$, это позволит обеспечить комфортный уровень шума, который не будет мешать пациентам. Скорости воздуха при проходе через воздухоораспределители так же необходимо посчитать для дальнейшего назначения граничных условий. Считается по простой формуле:

$$L / (3600 * F) = L / (3600 * (\pi * r^2))$$

где L – расход воздуха в воздухопроводе ($\text{м}^3/\text{ч}$);

3600 – переводной коэффициент из час в секунду;

F – площадь сечения воздухопровода (мм), для круглого сечения = $\pi * r^2$,

π – число π равное 3,14;

r^2 – радиус (мм).

После небольшого расчета получаем скорости равные 1,106 м/с для первого варианта с четырьмя воздухоораспределителями и 0,9436 м/с для второго варианта с тремя воздухоораспределителями.

Для вытяжки воздуха через дверь в санузел установим решетку сечение 500x200мм (ШхВ) и скорость воздуха в ней будет составлять 0,89 м/с. Для притока воздуха в

помещение установим в двери решетку сечением 600x300мм (ШxВ) скорость при проходе через нее будет составлять 0,98 м/с что нас вполне устраивает.

Далее создаем условия симуляции в программе SimScale. Для этого создаем проект, выбираем условия проведения симуляции, создаем три сетки что бы в дальнейшем выбрать наилучшую. Для этого выбираем необходимое условие, задаем количество ячеек для данной геометрии по всем трем осям и для первой сетки используем предложенные программой числа. Для построения второй и третьей сетки мы будем увеличивать количество ячеек на 20% от предыдущего значения. Это показано на рисунке 3: а) крупная сетка; б) средняя сетка; в) мелкая сетка. Все остальные параметры оставляем без изменения. Создаем точки внутри геометрии над каждой койкой на уровне расположения головы пациента. Эти точки будут обозначать место выделения зараженного воздуха, который будут выдыхать пациенты. Создаем группу для этих точек и задаем значения. Вредность обозначаем буквой «Г». Создаем так же четыре точки, но уже в месте предположительно находящихся медицинских работников при проверке больных для того чтобы в дальнейшем определить какая концентрация вредности будет в этих точках. Далее создаем граничные условия на приток воздуха из коридора, естественный приток воздуха через оконные проемы, вытяжку воздуха из палаты и через санузел. Последним создаем условия проведения симуляции.

Mesh 1 Finished 326.7k cells, 347.9k nodes		Mesh 2 Finished 571.3k cells, 602.8k nodes	
Algorithm	Hex-dominant para	Algorithm	Hex-dominant para
Bounding box resolution		Bounding box resolution	
X	120	X	144
Y	79	Y	95
Z	53	Z	64

A) Mesh 3 Finished 983.9k cells, 1M nodes		B) Mesh 3	
Algorithm	Hex-dominant para	Algorithm	Hex-dominant para
Bounding box resolution		Bounding box resolution	
X	173	X	144
Y	114	Y	95
Z	77	Z	64

Рисунок 3. Размеры сетки геометрии: а) крупная сетка; б) средняя сетка; в) мелкая сетка

Всего будет выполнено три симуляции с разными сетками для нахождения оптимального результата. Проведение симуляций занимает определенное количество времени и чем мельче сетка, тем дольше будет симуляция. После проведения симуляции что бы определить при какой сетке будут проводиться дальнейшие исследования необходимо провести анализ. Для начала необходимо определить средний размер ячеек. Все ячейки квадратные и для определения их размеров необходимо разделить длину комнаты на количество ячеек на этой длине. Данные по размерам комнаты были описаны выше и ее длина составляет 7200 мм, а количество ячеек можно узнать посмотрев на рисунок 3 и их количество составляет для крупной сетки – 120, для средней сетки - 144 и для мелкой сетки - 173. Средней размер ячеек обозначается как Δx .

$$\Delta x_1 = 7200 / 120 = 60 \text{ мм (крупная сетка);}$$

$$\Delta x_2 = 7200 / 144 = 50 \text{ мм (средняя сетка);}$$

$$\Delta x_3 = 7200 / 173 = 41,62 \text{ мм (мелкая сетка).}$$

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3$ нам необходимы для построения диаграммы. Вторым показателем на диаграмме будет концентрация T в точках предполагаемого расположения медицинских работников. Эти данные берем после проведения симуляции открыв соответствующее меню и выбрав необходимый график (Рис. 4).

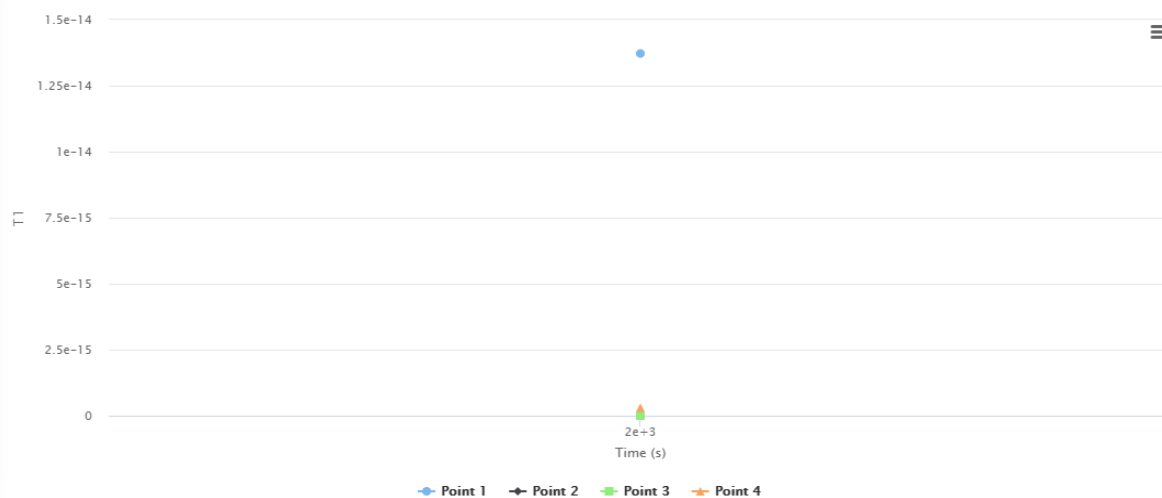


Рисунок 4. Концентрация T в точках предположительно находящихся медицинских работников при первом варианте геометрии и крупной сетке

Выписываем все значения концентраций во всех точках и средние размеры ячеек для всех сеток и записываем в таблицу 1.

Таблицу 1. Зависимость концентраций от сетки

Mesh1	60	1,372E-14	7,61E-21	8,89E-20	3,05E-16
Mesh2	50	1,15E-20	4,28E-22	3,48E-21	1,06E-20
Mesh3	41,62	3,91E-34	7,10E-35	4,25E-26	5,21E-27

По этой таблице делаем соответствующую диаграмму (Рис. 5), которая показывает изменения значения концентраций в зависимости от сетки.

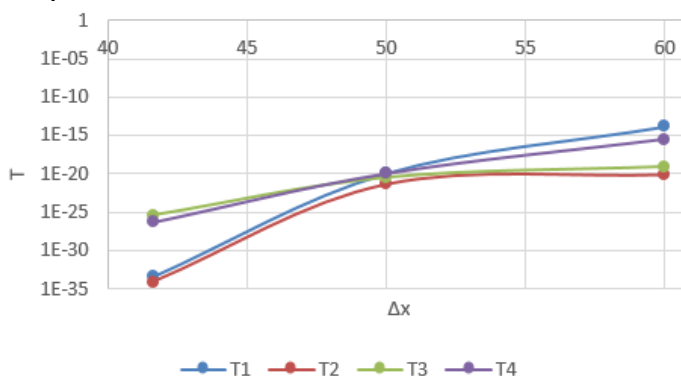


Рисунок 5. Диаграмма концентраций T в зависимости от сетки

Исходя из рисунка 5 мы видим, что при средней сетке значения более стабильны чем в других сетках и в дальнейшем при проведении исследования будем использовать именно ее. После проведения всех симуляций полученные значения концентраций записываем в таблицу 2.

Таблица 2. Значения концентрации при каждой симуляции

	T1	T2	T3	T4
Симул. 1	1,15E-20	4,28E-22	3,48E-21	1,06E-20
Симул. 2	1,002E-16	1,57E-28	9,46E-23	4,17E-21
Симул. 3	1,17E-21	2,04E-21	1,03E-20	7,45E-21
Симул. 4	1,67E-15	2,04E-27	2,25E-22	1,02E-11
Симул. 5	1,16E-18	2,21E-16	3,74E-24	2,36E-19
Симул. 6	1,75E-14	8,73E-13	1,67E-16	1,80E-17
Симул. 7	1,91E-16	2,95E-16	3,38E-24	5,66E-19
Симул. 8	3,99E-12	1,73E-14	3,16E-25	2,09E-15

Проведение дополнительного исследования позволит подробно разобрать каждый вариант симуляции, описать их и найти наилучший.

Список литературы

1. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [Текст]: СП 60.13330.2012: утв. Минрегион России 30.06.2011. – М.: Минрегион России, 2012. – 75 с.
2. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [Текст]. – Введ. 1989-01-01. – М.: Государственный стандарт союза ССР, 1989. – 56 с.
3. Павлова Н.Н., Шиллера И.Ю. Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник проектировщика [Текст]. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование. Кн.1. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
4. Павлова Н.Н., Шиллера И.Ю. Внутренние санитарно-технические устройства: Справочник проектировщика [Текст]. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование. Кн.2. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
5. Свод правил СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций. Правила проектирования» [Текст] утв. приказом Министерства строительства и ЖКХ от 18.02.2014 г. N 58/пр.
6. Свод правил СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» [Текст], Принят и введен в действие постановлением Госстроя России от 30 июня 2003 г. № 136

References

1. Updated version of SNiP 41-01-2003 "Heating, ventilation and air conditioning" [Text]: SP 60.13330.2012: approved. Ministry of Regional Development of Russia 06/30/2011. - M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2012. -- 75 p. [in Russian].
2. GOST 12.1.005-88. General sanitary and hygienic requirements for air in the working area [Text]. - Enter. 1989-01-01. - M.: State standard of the USSR, 1989. - 56 p. [in Russian].
3. Pavlova NN, Schiller I.Yu. Internal Sanitary Devices: Designer Handbook [Text]. In 3 hours, part 3. Ventilation and air conditioning. Book 1. - M.: Stroyizdat, 1992. -- 319 p. [in Russian].
4. Pavlova N.N., Schiller I.Yu. Internal Sanitary Devices: Designer Handbook [Text]. In 3 hours, part 3. Ventilation and air conditioning. Book 2. - M.: Stroyizdat, 1992. -- 416 p. [in Russian].

5. The code of rules of the joint venture 158.13330.2014 “Buildings and premises of medical organizations. Design Rules” [Text] approved. by order of the Ministry of Construction and Housing and Public Utilities of February 18, 2014 N 58 / пр. [in Russian].
6. The code of rules of the joint venture 51.13330.2011 “Protection against noise. Updated edition of SNiP 23-03-2003” [Text], Adopted and enforced by resolution of the Gosstroy of Russia dated June 30, 2003 No. 136 [in Russian].