

УДК 697.9

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИИ
В ПАЛАТЕ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНЫХ****Ситников Никита Ринатович**магистрант, Самарский государственный технический
университет, Россия, 443001, г. Самара, Молодогвардейская ул., 244**Аннотация**

В данной статье описаны результаты исследования работы вентиляции в палате инфекционных больных. Кратко описываются условия создания исследования. Производится первичное описание общей диаграммы всех симуляций. Описывается каждая и объясняются результаты каждой симуляции и их отличие от других. Производятся расчеты необходимых показателей для выяснения наиболее эффективного варианта. Описывается результат значений и выбирается самая эффективная симуляция.

Ключевые слова: Исследование, оптимизация, вентиляция, расчеты, эффективность, моделирование, значения, результат.

**PROCESSING THE RESULTS OF THE 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 describes the results of a study of ventilation in the ward of infectious patients. The conditions for creating a study are briefly described. An initial primary description of the general diagram of all simulations is made. Each is described and the results of each simulation and their difference from the others are explained. The necessary indicators are calculated to determine the most effective option. The result of the values is described and the most effective simulation is selected.

Key words: Research, optimization, ventilation, calculations, efficiency, modeling, values, result.

Данная статья направлена на изучение работы системы вентиляции в палате инфекционных больных. Она является продолжением статьи «Исследование работы

вентиляции в палате инфекционных больных» [1]. В статье была выбрана методика исследования – моделирование [2-5], построены геометрии помещений и воздушного объема, рассчитана схема вентиляции для данного помещения [6-8]. После этого в программе Sim Scale были заданы все необходимые значения для подготовки к симуляции. Была проведена первая симуляция, в которой была выбрана необходимая расчетная сетка, были проведены остальные симуляции и выписаны результаты. Всего было проведено 8 симуляций (4 варианта геометрии (2 варианта расположения дверей и 2 варианта расположения воздухораспределителей) и двух вариантов граничного условия оконного проема).

Симуляция проводится для определения концентрации вредности воздуха в точках (T_1, T_2, T_3, T_4), в которых предположительно находятся медицинские работники. Под вредностью воздуха понимается зараженный воздух, который выдыхают пациенты с инфекционными заболеваниями. Вредность воздуха является условной величиной, и задавалась физическими свойствами воздуха. Наиболее близкий аналог загрязнителя, который используется в опытах - SF₆, то есть фторид серы. Концентрация T определяется в миллионной доле (ppm). После проведения всех симуляций получена таблица с расчетными значениями (табл. 1) и по ней построены 3D диаграммы с указанием всех симуляций, точек определения концентрации и значениями концентраций (рис.1).

Таблица 1. 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

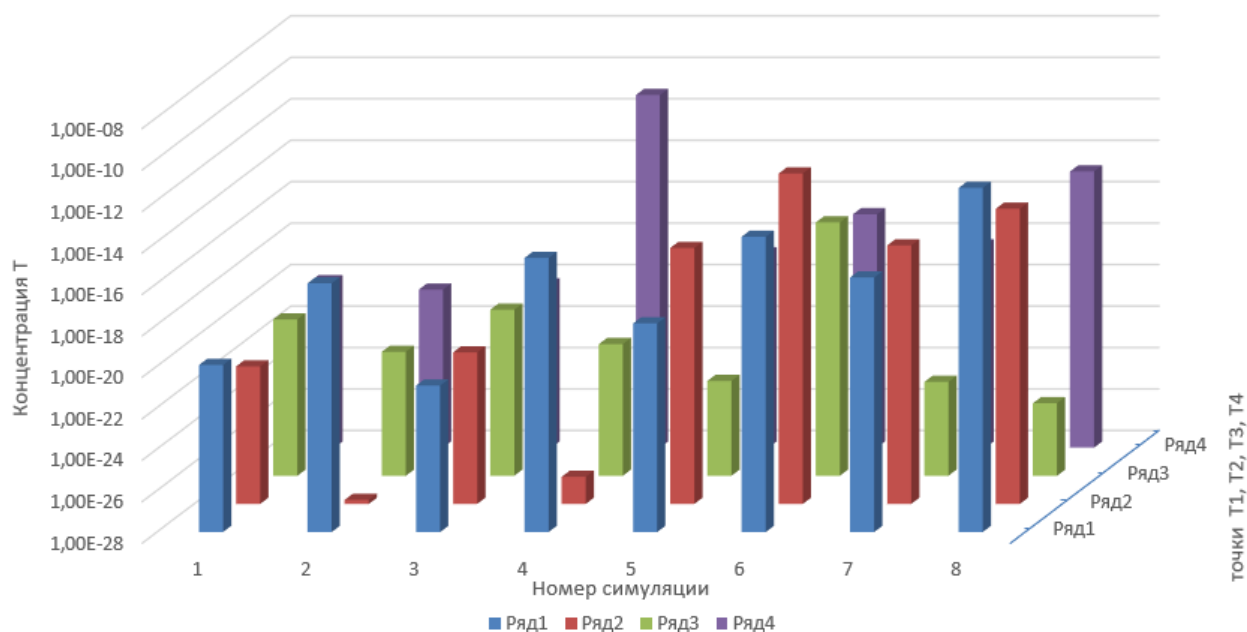


Рисунок 1. 3D диаграмма концентраций T во всех точках и всех симуляциях

Из таблицы и диаграммы видно, что в некоторых симуляциях значения концентраций схожи, а в некоторых различаются очень сильно. По данным расчетов для первой симуляции видно, что значения концентраций схожи. Т1 и Т4 практически одинаковые, а Т3 и Т4 немного меньше, это говорит о хорошей стабильности. В точке Т1 значения немного выше, это может быть связано с тем, что она находится между двумя различными вытяжками через санузел и через вытяжной диффузор, и в итоге вредный воздух идет в обе стороны и проходит через данную точку. В точке Т4 концентрация чуть ниже, чем в Т1, хотя она находится в противоположном углу от дополнительной вытяжки через санузел и по идее концентрация там должна быть меньше, но она такая же. Это связано с тем, что приточный воздух поступающий через решетку в двери в большем объеме проходит сразу к вытяжной решетке в санузел и достаточного количества свежего воздуха не поступает в точку Т4, поэтому там концентрация выше. Таким же образом можно объяснить количество концентрации в точке Т2 и Т3.

Симуляция номер два по значениям сильно отличается от первой, хотя разница только в том, что подоконник во втором случае закрыт. Важно заметить, что точки по значениям концентрации одинаковые по сравнению с первым вариантом, то есть во втором, как и в первом случае, максимальная концентрация в точке Т1, меньше концентрация в точке Т4, еще меньше в точке Т3, и самая минимальная в точке Т2, но разница в значениях довольно ощутимая. Значение концентраций в этих точках объясняется так же, как и в первой симуляции, а такую разницу в значениях можно объяснить только тем что не учитывается естественный приток воздуха через оконные проемы. Концентрация Т2 значительно ниже чем в остальных точках, это говорит о том, что воздух попадая в помещение имеет определенную траекторию, которая зависит от скорости подачи воздуха, скорости вытяжки воздуха и расположению вытяжных устройств, то есть часть воздуха заходя в комнату движется к точке Т2 и проходя через нее удаляется через вытяжное устройство сбивая поток зараженного воздуха, который выделяет пациент. В точке Т1 часть воздуха так же движется в направлении точки Т2, но этот поток меняет направление в сторону вытяжной решетки санузла и в итоге в точке Т2 идет недостаток свежего воздуха, отчего и концентрация там увеличивается по сравнению с другими точками.

Симуляция номер три отличается от первой только расположением воздухораспределителей их размером и скоростью воздуха. На диаграмме видно, что значения концентраций очень схожи с значениями первой симуляции, но при этом разница концентраций в каждой точке минимальная. Результат получился более стабильным.

Симуляция номер четыре отличается от третьей, как и вторая от первой только, тем что граничное условие на подачу естественного воздуха через оконные проемы отключено и результат схож со второй симуляцией за исключением того, что в отличие от второй симуляции концентрация в точке Т4 гораздо выше, чем в точке Т1. Данные значения просто объяснить. Как и во втором случае при отключении естественной подачи воздуха значение концентраций становится более реальными. В точках Т2 и Т3 концентрация ниже, так как приточный воздух с большим объемом поступает именно в эту часть и вытяжка в этих точках работает лучше за счет того, что в этих местах воздух удаляется с помощью двух диффузоров, в отличие от точки Т1 и Т4, в которых воздух удаляется только за счет одного диффузора. В точке Т1 концентрация ниже по сравнению с точкой Т4 за счет того, что к ней поступает больше воздуха из-за вытяжки через санузел. В этой точке воздух лучше размещивается и из-за этого концентрация ниже. В точку Т4 поступает меньше воздуха чем к другим точкам, и вытяжка там работает хуже и в связи с этим в этой точке самая высокая концентрация.

В симуляции номер 5 значения концентраций крайне интересные, так как при такой геометрии и условиях концентрация должна быть наименьшей в точках Т3 и Т4, но концентрация в точке Т3 наибольшая, а в точке Т4 ниже средней, в то время как в точке Т2 она наименьшая, а в точке Т1 больше средней. Возможно это связано с самой программой расчетов, и в каких-то случаях она работает некорректно.

Аналогичная ситуация с симуляцией номер 6, которая отличается от пятой только тем что отсутствует естественный приток через оконные проемы. В этом случае, концентрация в точке Т3 так же наибольшая, но в других случаях отличается. В точке Т4 концентрация выше средней, в точке Т2 меньше средней, а в точке Т1 наименьшая. Это можно объяснить только тем, что при попадании воздуха внутри помещения небольшая его часть идет в точку Т4, а остальной воздух идет мимо Т3 напрямиком к Т1, и возле этой точки разделяется и удаляется через диффузоры с одной стороны и через решетку с другой.

В симуляции 7 ситуация схожая по сравнению с пятой. Они отличаются только вариантом расположения воздухораспределителей. По уровню концентрации эти варианты одинаковые за исключением того, что здесь концентрация в точках Т3 и Т4 практически одинаковая. Концентрация в точке Т2 минимальная, а в точке Т1 меньше средней. Такая разница концентраций объясняется некорректной работой естественного притока воздуха через оконные проемы.

Последний вариант симуляции отличается от седьмого только тем, что закрыт естественный приток воздуха через оконные проемы. В этом случае данные получаются более корректными, так как концентрация максимальная в точке Т4, в точке Т3 выше средней, в точке Т1 ниже средней и в точке Т2 наименьшая. Такое различие объясняется тем, что при попадании воздуха в помещение он большим объемом движется по диагонали в точку Т2, и доходя до нее отклоняется и начинает двигаться к вытяжной решетке в двери к санузлу.

Далее, необходимо определить и сравнить значения средней арифметической концентрации и ее медианы. Для этого воспользуемся формулой: $(T1+T2+T3+T4) / 4$, так как у нас всего 4 точки. Медиану значений будем определять, как среднюю арифметическую двух средних значений, то есть значений с концентрацией чуть выше и

чуть ниже средней из всех предложенных. Для всех симуляций построим диаграммы, определим значения средней арифметической и медианы, после чего в конце опишем все полученные результаты (рис. 2,3).

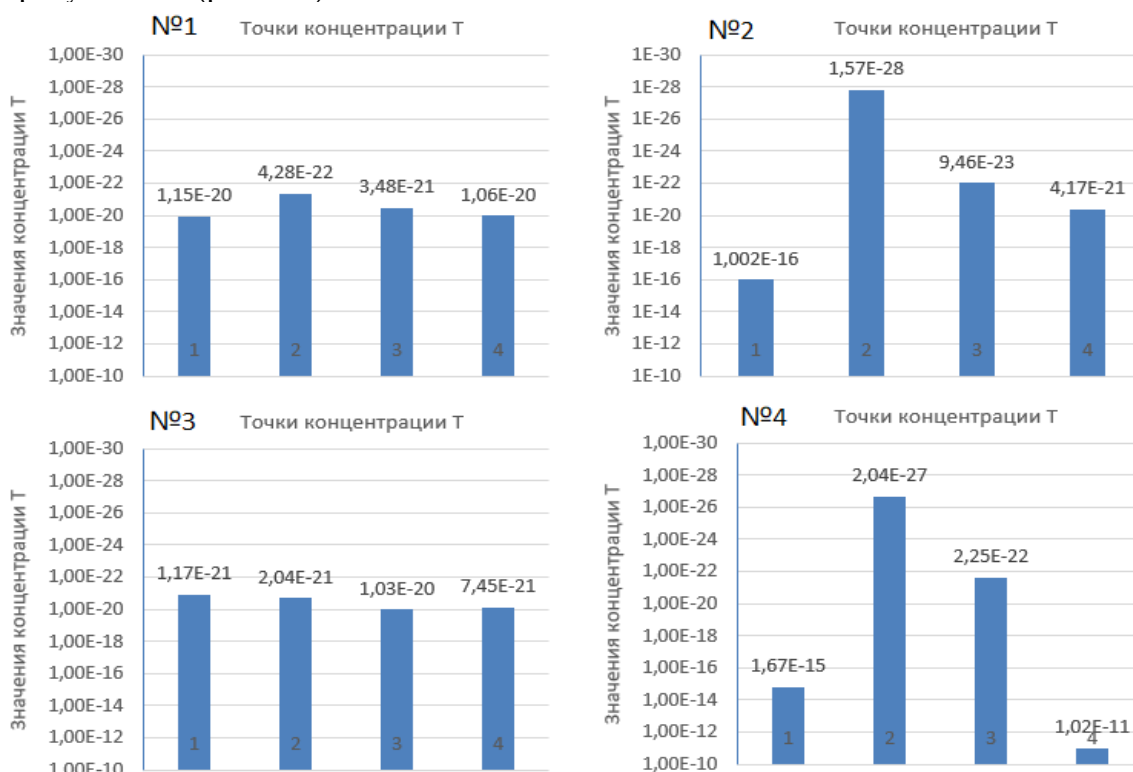


Рисунок 2. Диаграммы концентраций T во всех точках в симуляциях №1,2,3,4

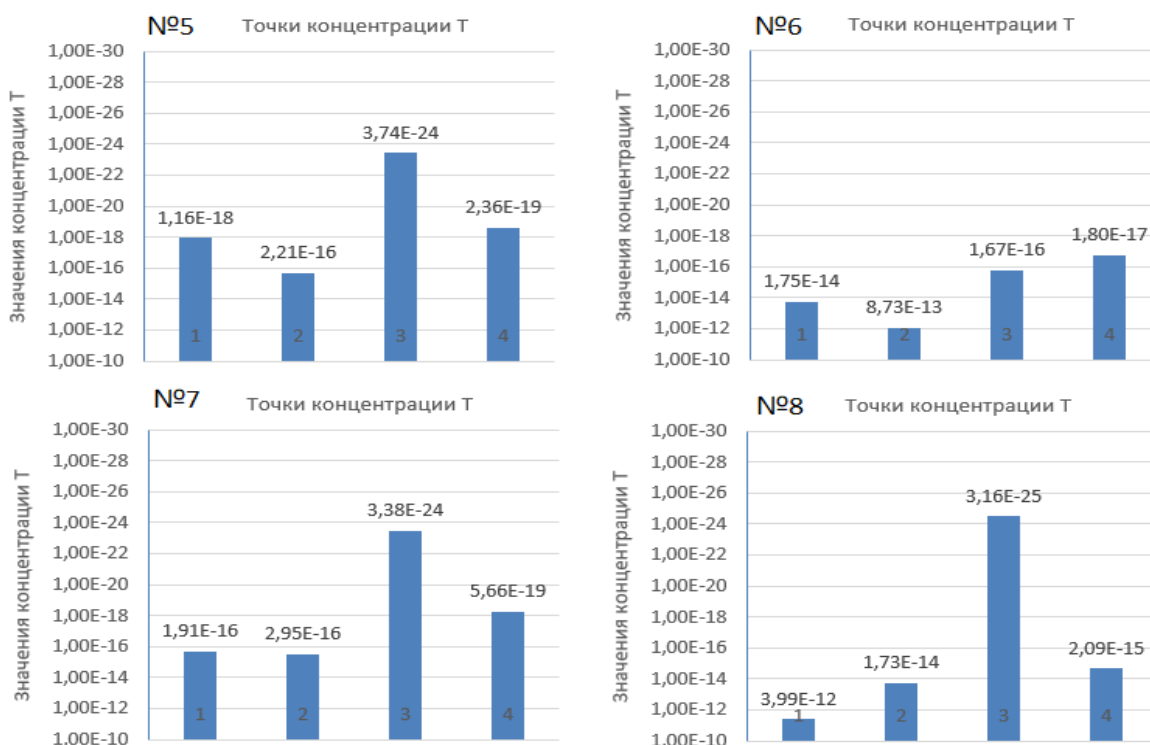


Рисунок 3. Диаграммы концентраций T во всех точках в симуляциях №5,6,7,8

Посчитаем среднюю арифметические значения для каждой симуляции:
 №1: $(1,15E-20 + 4,28E-22 + 3,48E-21 + 1,06E-20) / 4 = 6,05E-21$;
 №2: $(1,00E-16 + 1,57E-28 + 9,46E-23 + 4,17E-21) / 4 = 2,5E-17$;
 №3: $(1,17E-21 + 2,04E-21 + 1,03E-20 + 7,45E-21) / 4 = 5,24E-21$;

$$\text{№4: } (2,04\text{E-}27 + 2,25\text{E-}22 + 1,67\text{E-}15 + 1,02\text{E-}11) / 4 = 2,55\text{E-}12;$$

$$\text{№5: } (3,74\text{E-}24 + 2,36\text{E-}19 + 1,16\text{E-}18 + 2,21\text{E-}16) / 4 = 5,56\text{E-}17;$$

$$\text{№6: } (8,73\text{E-}13 + 1,75\text{E-}14 + 1,67\text{E-}16 + 1,8\text{E-}17) / 4 = 2,23\text{E-}13;$$

$$\text{№7: } (2,95\text{E-}16 + 1,91\text{E-}16 + 5,66\text{E-}19 + 3,38\text{E-}24) / 4 = 1,22\text{E-}16;$$

$$\text{№8: } (3,99\text{E-}12 + 1,73\text{E-}14 + 2,09\text{E-}15 + 3,16\text{E-}25) / 4 = 1,00\text{E-}12.$$

Посчитаем медиану для каждой симуляции:

$$\text{№1: } (1,06\text{E-}20 + 3,48\text{E-}21) / 2 = 7,04\text{E-}21;$$

$$\text{№2: } (9,46\text{E-}23 + 4,17\text{E-}21) / 2 = 2,13\text{E-}21;$$

$$\text{№3: } (2,04\text{E-}21 + 7,45\text{E-}21) / 2 = 4,75\text{E-}21;$$

$$\text{№4: } (2,25\text{E-}22 + 1,67\text{E-}15) / 2 = 8,35\text{E-}16;$$

$$\text{№5: } (2,36\text{E-}19 + 1,16\text{E-}18) / 2 = 6,98\text{E-}19;$$

$$\text{№6: } (1,75\text{E-}14 + 1,67\text{E-}16) / 2 = 8,83\text{E-}15;$$

$$\text{№7: } (1,91\text{E-}16 + 5,66\text{E-}19) / 2 = 9,58\text{E-}17;$$

$$\text{№8: } (1,73\text{E-}14 + 2,09\text{E-}15) / 2 = 9,7\text{E-}15.$$

Все результаты записываем в таблицу 2.

Ранее уже была описана общая диаграмма с объяснением значений концентраций.

Разберем также и значения средней арифметической концентрации и медианы в каждой из симуляций, которые записаны в таблице 2. Значения этой таблицы наглядно показаны на рисунке 4.

Таблица 2

Номер симуляции	Средняя арифметическая концентрации	Медиана концентрации
Симуляция №1	6,50E-21	7,04E-21
Симуляция №2	2,51E-17	2,13E-21
Симуляция №3	5,24E-21	4,75E-21
Симуляция №4	2,55E-12	8,35E-16
Симуляция №5	5,56E-17	6,98E-19
Симуляция №6	2,23E-13	8,83E-15
Симуляция №7	1,22E-16	9,58E-17
Симуляция №8	1,00E-12	9,70E-15

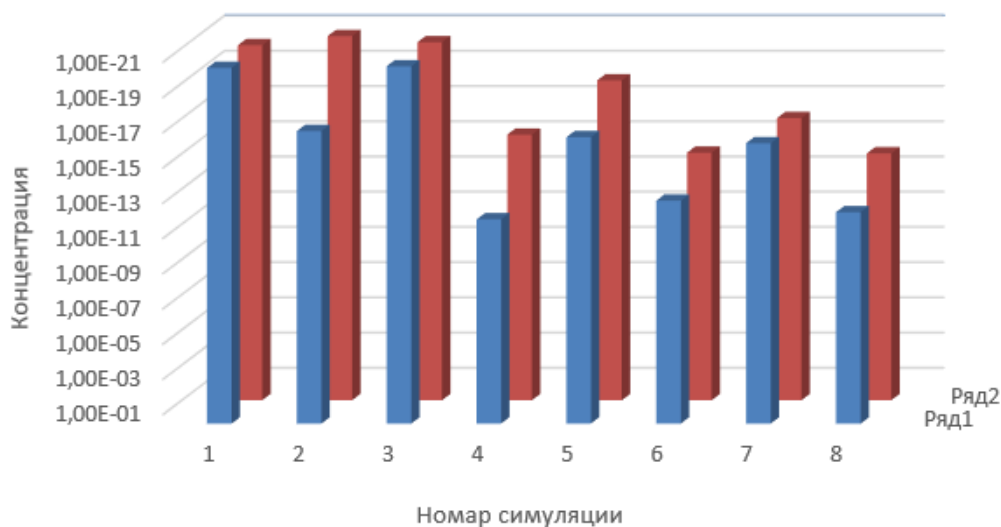


Рисунок 4. Диаграмма значений средней арифметической (Ряд 1) и медианы (Ряд 2) концентраций в каждой симуляции

Вспомним, что симуляции различаются геометриями помещений (№1,2,3,4 – первый вариант; №5,6,7,8 – второй вариант), расположением и количеством воздухораспределителей (№1,2,5,6 – первый вариант с четырьмя воздухораспределителями; №3,4,7,8 – второй вариант с тремя воздухораспределителями), и наличием граничного условия на приток естественного воздуха через оконные проемы (№1,3,5,7 – открытые подоконники; №2,4,6,8 – закрытые подоконники). Таким образом мы видим, что в симуляциях с открытым подоконниками по сравнению с симуляциями с закрытым подоконником все значения средней арифметической концентрации ниже, медиана тоже ниже за исключением симуляции №1, таким образом варианты №1,3,5,7 более эффективные. Так же из данной диаграммы можно сделать вывод, что при симуляции с использованием первого варианта расположения и количества воздухораспределителей значения концентраций более низкие, чем во втором варианте и это означает, что такая система работает более эффективно. При использовании первого варианта геометрии с расположением дверей на соседних стенах, концентрация ниже и это значит, что такой вариант более эффективный, хотя казалось, что при расположении дверей на одной стене в противоположных частях, концентрация будет ниже за счет более правильной траектории воздуха.

После полного описания всех симуляций можно выбрать один вариант, который будет более эффективным. Итак, мы выяснили что при использовании граничного условия на приток естественного воздуха через оконные проемы концентрация будет ниже, эти варианты в итоге у нас и останутся (№1,3,5,7). Далее мы выяснили, что геометрия самого помещения тоже важна и вариант с расположением дверей на разных стенах является более эффективным, поэтому мы исключаем варианты №5 и №7, и у нас остается всего два варианта №1 и №3. Этим анализом мы определили, что варианты с тремя воздухораспределителями более эффективные, но если выбирать из симуляций №1 и №3, то очевидно, что концентрация в симуляции №3 с тремя воздухораспределителями будет немного меньше, и в итоге именно эта симуляция оказывается самой эффективной. Именно при этом варианте получилась минимальная концентрация вредности воздуха, а

также самая низкая средняя арифметическая и медиана концентрации, и сама концентрация по точкам является самой стабильной.

Список литературы

1. Ситников Н. Р. Исследование работы вентиляции в палате инфекционных больных // ОРИС, №5, том 10 (в печати)
2. Денисихина Д. М. Численное моделирование неизоотермических турбулентных течений в помещениях плавательных бассейнов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44).
3. Денисихина Д. М. Особенности численного моделирования поведения воздушных потоков в объемах концертных и театральных залов // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 3 (22)].
4. Борисоглебская А. П. Технологии создания микроклимата в медицинских учреждениях // АВОК. - 2017. - №5.
5. Табунщиков Ю. А. Математическое моделирование - универсальный инструмент управления теплоэнергопотреблением здания // АВОК №6'2018
6. Борисоглебская А. П. Лечебно-профилактические учреждения. Общие требования к проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: АВОК-ПРЕСС, 2008.
7. Борисоглебская А. П. Вентиляция и кондиционирование воздуха лечебно-профилактических учреждений // АВОК. - 2010. - № 8.
8. Борисоглебская А. П. Вентиляция и кондиционирование воздуха лечебно-профилактических учреждений // АВОК. - 2011. - № 1.

References

1. Sitnikov N. R. Research of the ventilation in the chamber of infectious patients // ORIS, No. 5, Volume 10 (in press) [in Russian].
2. Denisikhina DM. Numerical modeling of non-isothermal turbulent flows in the premises of swimming pools // Bulletin of civil engineers. 2014. No3 (44) [in Russian].
3. Denisikhina D. M. Features of numerical modeling of the behavior of air flows in the volumes of concert and theater halls // Internet journal "Science of Science". 2014. No. 3 (22)] [in Russian].
4. Borisoglebskaya A. P. Technologies for creating a microclimate in medical institutions // АВОК No. 5'2017 [in Russian].
5. Tabunshchikov Yu. A. Mathematical modeling - a universal tool for managing the heat and energy consumption of a building // АВОК No. 6'2018 [in Russian].
6. Borisoglebskaya A. P. Medical institutions. General requirements for the design of heating, ventilation and air conditioning systems. M.: AVOK-PRESS, 2008 [in Russian].
7. Borisoglebskaya A. P. Ventilation and air conditioning of medical institutions // АВОК. - 2010. - No. 8 [in Russian].
8. Borisoglebskaya A. P. Ventilation and air conditioning of medical institutions // АВОК. - 2011. - No. 1 [in Russian].